



Niklas Huitti

## **Rakennustyömaan tietomallipohjainen aluesuunnittelu**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 15.05.2016

Valvoja: Professori Olli Seppänen

Ohjaaja: DI Suvi Sillfors (SRV Rakennus Oy)

---

**Tekijä** Niklas Huitti

---

**Työn nimi** Rakennustyömaan tietomallipohjainen aluesuunnittelu

---

**Koulutusohjelma** Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma

---

**Pää-/sivuaine** Rakentamistalouden sivuaine

**Koodi** IA 3022

---

**Työn valvoja** Professori Olli Seppänen

---

**Työn ohjaaja(t)** DI Suvi Sillfors (SRV Rakennus Oy)

---

**Päivämäärä** 15.05.2016

**Sivumäärä** 61+5 liitesivua

**Kieli** Suomi

---

### **Tiivistelmä**

Tietomallien käyttö lisääntyy rakennushankkeissa jatkuvasti ja tietomallipohjaisen suunnittelun lisäksi tietomalleja hyödynnetään yhä enemmän myös kohteen rakennusvaiheessa. Diplomityössä tutkitaan rakennustyömaan tietomallipohjaista aluesuunnittelua, mikä on yksi kiinnostava vaihtoehto hyödyntää tietomallinnuksen tarjoamia mahdollisuuksia rakennushankkeissa.

Diplomityön kirjallisuustutkimuksessa selvitetään, mikä on aluesuunnitelman tarkoitus, sekä mitä yhteyksiä aluesuunnitelmalla on työmaan aikatauluun ja kustannuksiin. Kirjallisuustutkimuksessa tutkitaan lisäksi tietomallinnusta yleisesti, minkä jälkeen tutkimus kohdistetaan tietomallipohjaiseen aluesuunnitteluun. Työn empiirisessä osassa tehdään sekä kansainvälisiä haastatteluita että kohdeyrityksen sisäisiä haastatteluita. Haastatteluiden tavoitteena on selvittää miten tietomallinnusta on jo hyödynnetty työmaan aluesuunnittelussa, ja miten sitä olisi syytä hyödyntää kohdeyrityksessä. Kirjallisuustutkimuksen ja haastatteluiden perusteella päätettiin case-hankkeessa mallintaa työmaan aluesuunnitelma SketchUp –ohjelmistolla hyödyntäen mahdollisimman laajasti saatavilla olevia lähtötietoja. Mallista pyrittiin tekemään hyvin ryhmitelty, tarkka ja visuaalinen, jotta mallista saisi ulos mahdollisimman monipuolisia ja hyödyllisiä julkaisuja.

Diplomityön perusteella voidaan todeta, että työn aihe on kiinnostusta herättävä ja ajankohtainen. Kohdeyrityksessä on jo aiemmin havaittu selkeä tarve tutkimuksen tuloksena syntyneelle tietomallipohjaista aluesuunnittelua käsittelevälle toimintaohjeelle ja mallinnusobjekteja sisältävälle objektikirjastolle. Diplomityön perusteella voidaan todeta, että mallinnettu aluesuunnitelma tarjoaa aivan uusia mahdollisuuksia kommunikoinnin apuvälineeksi työmaalla. Mallinnetun aluesuunnitelman hyödyntämisessä tulee huomioida, että erilaisia kohderyhmiä ja julkaisutapoja on useita. Uudet julkaisutavat kuten animaatiot ja interaktiiviset kuvat, auttavat asioiden havainnollistamisessa. Aluesuunnitelman ei enää tarvitse olla ilmoitustaululle neljä kertaa työmaa-aikana päivitettävä A3-tuloste, vaan se voi olla paljon muutakin. Mallinnetun aluesuunnitelman hyödyntämisessä vain luovuus on rajana.

---

**Avainsanat** Tietomalli, Aluesuunnitelma, Logistiikka, Tuotannonohjaus, Työturvallisuus, Turvallisuussuunnittelu, BIM, SketchUp, Objektikirjasto

---

<b>Author</b> Niklas Huitti		
<b>Title of thesis</b> BIM-based Site Utilization Planning		
<b>Degree programme</b> Structural Engineering and Building Technology		
<b>Major/minor</b> Construction Economics		<b>Code</b> IA 3022
<b>Thesis supervisor</b> Professor Olli Seppänen		
<b>Thesis advisor(s)</b> M.Sc. Suvi Sillfors (SRV Rakennus Oy)		
<b>Date</b> 15.05.2016	<b>Number of pages</b> 61+5 appendix pages	<b>Language</b> Finnish

#### **Abstract**

The usage of building information models in construction projects is increasing continuously. In addition to designers' modeling work, models are also used in various ways during the construction phase. BIM-based site utilization planning is one interesting way to exploit the opportunities offered by building information modeling.

The literature study of this master thesis is focusing to find the meaning of a site utilization plan, but also to find out how the site utilization plan is connected to schedule and costs. In the literature study BIM was explored in general, and after the general part the focus is in BIM-based site utilization planning. There are international and local interviews in the empirical part of this thesis. The target of the interviews is to find out the best practices of the topic for use in the target company. Based on the literature study and interviews it was decided to model the case-projects' site plan using SketchUp software. Available input data were used as widely as possible. The main focus in modeling was to organize the model and make it detailed and visual, so that it could be published in different formats.

Based on this thesis, it can be stated that the topic is interesting and current. In the target company it was already found out earlier that there is a need for operating instructions for BIM-based site utilization planning and also for object library. Based on this study, it can be concluded that modeled site utilization plan offers completely new possibilities for communication in construction site. In the use of modeled site utilization plan it should be taken into account that there are different target groups and formats for publishing the plan. Modeled site plan should be published in different formats, for example animations and interactive pictures. Site utilization plan no longer needs to be published on the bulletin board on four different construction phases. It can be much more than that. The creativity is the only limit when exploiting the site utilization plan.

---

**Keywords** Building information model, Site plan, Logistics, Production management, Safety, Safety planning, BIM, SketchUp, Object library

---

## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty SRV Rakennus Oy:lle vuonna 2016. Diplomityön tavoitteena on tutkia ja löytää mallinnetun aluesuunnitelman käyttötarpeet.

Kiitän lämpimästi tästä mahdollisuudesta koko SRV Rakennus Oy:n organisaatiota, etenkin työni ohjaajaa DI Suvi Sillforssia, sekä tietomallinnusasiantuntija Jyrki Maalah-tea. Kiitokset myös esimiehilleni kannustuksesta, sekä kaikille muille työntekijöille, jotka ovat olleet edesauttamassa työn valmistumista.

Työni valvojaa professori Olli Seppästä haluan kiittää asiantuntevasta ohjauksesta, hyvistä neuvoista, kannustavasta asenteesta sekä kansainvälisten haastatteluiden järjestämisestä.

Lämmin kiitos myös perheelle, avopuolisolle sekä ystäville tuesta ja ymmärryksestä diplomityötä kohtaan.

Espoo 15.05.2016

***Niklas Huitti***

Niklas Huitti

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo

Lyhenteet

1	Johdanto .....	1
1.1	Työn tausta .....	1
1.2	Työn tutkimuskysymykset ja tavoitteet .....	1
1.3	Työn tutkimusmenetelmät .....	2
2	Rakennushankkeen aluesuunnittelu .....	3
2.1	Aluesuunnittelun tarkoitus .....	3
2.2	Aluesuunnitelmassa esitettävät asiat .....	3
2.3	Aluesuunnitelman yhteys aikatauluun .....	4
2.4	Aluesuunnitelman yhteys kustannuksiin .....	5
3	Tietomallintaminen rakennushankkeissa .....	8
3.1	Tietomallinnus käsitteenä .....	8
3.2	Yleiset tietomallivaatimukset 2012 .....	9
3.3	Tietomallien hyödyntäminen rakennushankkeissa .....	10
3.4	Yhteenveto tietomallintamisesta rakennushankkeissa .....	12
4	Tietomallipohjainen alue- ja logistiikkasuunnittelu .....	13
4.1	Tietomallipohjainen alue- ja logistiikkasuunnittelu kirjallisuudessa .....	13
4.2	Tietomallipohjaisen aluesuunnitelman yhteys kaupunkimalliin .....	14
4.3	Case-hankkeet kirjallisuudessa .....	15
4.4	Tietomallipohjainen alue- ja logistiikkasuunnittelu yrityksissä .....	21
4.4.1	Ryan Companies .....	22
4.4.2	Webcor Builders .....	22
4.4.3	Turner Construction .....	28
4.4.4	Trimble Solutions .....	29
4.4.5	Balfour Beatty Construction .....	29
4.4.6	China State Construction Engineering Corporation .....	32
4.4.7	Ramirent .....	32
4.4.8	SRV Rakennus Oy .....	35
4.4.9	Yhteenveto yritysten käyttämistä työkaluista mallintamisessa .....	38
4.5	Case-tutkimuksen aluesuunnittelussa käytettävät menetelmät .....	39
5	Case-kohteen aluesuunnittelu ja objekti kirjaston kasaaminen .....	41
5.1	Case-kohteen esittely .....	41
5.2	Aluesuunnitteluprosessi case-kohteessa .....	41
5.2.1	Saatavilla olevat lähtötiedot .....	41
5.2.2	Aluesuunnitteluprosessi AutoCAD:ssa .....	42
5.2.3	Aluesuunnitteluprosessi SketchUp:ssa .....	43
5.2.4	Kaksiulotteisen- ja kolmiulotteisen aluesuunnitteluprosessien vertailu ...	44
5.2.5	Mallinnetun aluesuunnitelman hyödyntäminen .....	45
5.3	Objektikirjaston määrittäminen ja sen kokoamisen suunnittelu .....	48
5.3.1	Mallinnusobjektit kirjallisuudessa .....	48
5.3.2	Saatavilla olevien objektien kartoittaminen .....	48
5.3.3	Tarvittavien objektien mallinnus .....	49
5.3.4	Aluesuunnitelman laatimiseen tarvittava objekti kirjasto .....	50
5.4	Case-tutkimuksen yhteenveto .....	51

6	Johtopäätökset ja yhteenveto.....	52
6.1	Tutkimusmenetelmien yhteenveto .....	52
6.1.1	Kirjallisuustutkimus .....	52
6.1.2	Haastattelut.....	52
6.1.3	Case-tutkimus.....	53
6.2	Tutkimustulosten arviointi ja johtopäätökset .....	53
6.3	Tietomallipohjaisen aluesuunnittelun tulevaisuus ja jatkotutkimustarve.....	55
	Lähdeluettelo.....	57
	Liiteluettelo .....	61
	Liitteet	

# Lyhenteet

BIM	Building Information Modeling, eli tietomallinnus.
DWG	AutoCAD-ohjelmiston käyttämänä tiedostojen tallennusmuoto.
GIS	Geographical Information System, eli paikkatietojärjestelmä.
GPS	Global Positioning System, eli maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä.
HRI	Helsinki Region Infoshare, on Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten kaupunkien yhteinen avointa dataa jakava palvelu.
IFC	Industry Foundation Classes. Kansainvälinen, ohjelmistokehittäjistä riippumaton tiedostonsiirtoformaatti, joka mahdollistaa eri tietomallisovelluksilla tuotettujen tietomallien yhdistämisen yhteismalliksi.
LOD	Level of Detail, eli tarkkuustaso. Eri tarkkuustasoja 3D-mallissa esitettävälle rakennuksille on neljä. Taso 1 on epätarkin ja taso 4 on tarkin.
NP-täydellinen ongelma	Ongelma jolle ei ole löydetty ongelman koon suhteen polynomisesti rajatussa ajassa toimivaa ratkaisualgoritmia. (NP-complete = non deterministic polynomial time-complete)
NYC BOD	New York City Department of Buildings. New Yorkin kaupungille luotu osasto, jonka tehtävä on parantaa rakennusten ja rakennustömaiden turvallisuutta.
RFID	Radio Frequency Identification, eli radiotaajuinen etätunniste.
SMC	Solibri Model Checker. Tietokoneohjelma joka on tarkoitettu tietomallien laadunvarmistukseen ja analysointiin.
ULS	Uusi Lastensairaala 2017. SRV Rakennus Oy toimii hankkeessa päätoteuttajana.
VDC	Virtual Design and Construction, eli virtuaalinen suunnittelu ja rakentaminen on tietomallien avulla toteutettua suunnittelua ja rakennustuotannon ohjausta.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Työmaan aluesuunnittelun tarkoituksena on suunnitella työmaa-alue mahdollisimman tehokkaaksi ja turvalliseksi. Perinteisesti työmaan aluesuunnitelma on tehty kaksiulotteisena, jolloin monet erityisesti työmaan muotoon ja ympäristöön liittyvät asiat saattavat jäädä huomioimatta. Aluesuunnitelma on myös mahdollista mallintaa kolmiulotteisena, jolloin suunnitelman havainnollisuus kasvaa. (JohgHoon ja Castillo 2015.)

Aluesuunnitteluun liittyy läheisesti myös työmaan logistiikkasuunnittelu. Tuotannon sujuvuuden ja työturvallisuuden takia materiaalin on liikuttava sekä työmaalle että työmaan sisällä tehokkaasti. Tietomallipohjaisella logistiikkasuunnittelulla voidaan havainnollistaa aiempaa selkeämmin käytettävät kulkureitit, varastointialueet, sekä nosto- ja siirtolaitteet kapasiteetteineen ja tilantarpeineen. VTT:n ennusteen mukaan kaupungistuminen tulee jatkumaan tulevaisuudessa ja tämä lisää niin asunto- kuin liikerakentamisen tarvetta kasvukeskuksissa (Vainio 2016). Kun työmaat sijoittuvat yhä useammin ahtaille tonteille jo olemassa olevan rakennuskannan yhteyteen, korostuu ympäristön huomioiminen työmaan alue- ja logistiikkasuunnittelussa entisestään (Hardin ja Mc cool 2015).

Kohdeyrityksessä tietomallipohjaisen alue- ja logistiikkasuunnittelun hyödyntämisessä ei ole selkeää toimintamallia. Työmailla käytettäväksi mallinnusohjelmaksi on valittu Trimblen SketchUp sen helppokäyttöisyyden, edullisuuden ja havainnollisuuden takia. Mallinnuksen kokeiluun ja tehokkaaseen käyttöön on työmailla yleisesti suuri kynnys, koska ohjelmien käytön opettelu vie usein paljon aikaa. Lisäksi työmaan alue-, logistiikka- ja turvallisuussuunnitteluun hyödynnettäviä valmiita mallinnusobjekteja on vain vähän saatavilla ja nekin ovat hajanaisissa lähteissä. Kohdeyrityksellä ei ole käytössä yhteistä objekti kirjastoa, jonka avulla työmailla tehtävä tietomallipohjainen aluesuunnittelu nopeutuisi ja aluesuunnitelmista, sekä käytännöistä tulisi yhteneviä.

Mallinnettu aluesuunnitelma sopii myös apuvälineeksi työmaakaluston hallintaan. Havainnollisen mallin avulla pystytään helposti ja nopeasti tekemään vertailu esimerkiksi julkisivutöissä työtelineiden ja mastolavan käytön välillä. Jotkut mallinnusohjelmat mahdollistavat myös attribuuttitiedon tallentamisen mallinnusobjekteihin. Tällöin mallista on mahdollista saada ulos esimerkiksi käytettävän putoamissuojaukskaluston määrät kerroksittain.

## 1.2 Työn tutkimuskysymykset ja tavoitteet

Työn tavoitteena on saada vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitä lähtötietoja tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa on olemassa sekä miten niitä kannattaa käyttää?
- Mitä mallintaessa tulee huomioida, jotta mallista tulee mahdollisimman havainnollinen, monikäyttöinen ja helposti päivitettävä?
- Mitä valmiita mallinnusobjekteja on saatavilla ja mitä on tarpeellista luoda itse?
- Mitä etuja tiemallipohjaisella aluesuunnittelulla saadaan perinteiseen kaksiulotteiseen aluesuunnitteluun verrattuna?



Diplomityön tavoitteena on tutkia ja löytää mallinnetun aluesuunnitelman käyttötarpeet. Tavoitteena on laatia kohdeyritykselle toimintaohje, jolla tietomallipohjaisesta alue- ja logistiikkasuunnittelusta saadaan kaikki hyödyt irti työmailla. Case-tutkimuksessa mallinnetaan todennäköisesti SketchUp:lla, koska se on jo nyt kohdeyrityksen käytössä.

Diplomityön tuloksena laaditaan toimintaehdotus tietomallipohjaisen aluesuunnittelun käytöstä työmailla. Tuloksista käy ilmi, mitä lähtötietoja mallintamisessa voidaan hyödyntää, ja miten mallista saadaan mahdollisimman havainnollinen ja monikäyttöinen. Toimintaehdotuksen lähtökohtana on helppokäyttöisyys, sekä mallintamisen tarkoituksenmukaisuus. Näin voidaan madaltaa työmaahenkilöstön kynnystä käyttää tietomallia myös tuotannon suunnittelussa. Diplomityön tuloksena on tarkoitus koota kohdeyritykselle myös kattava objektiikirjasto, joka on jatkossa hyödynnettävissä työmaiden tuotannon suunnittelussa.

### 1.3 Työn tutkimusmenetelmät

Diplomityössä käytettäviä tutkimusmenetelmiä ovat kirjallisuustutkimus, haastattelut, sekä case-tutkimus. Kirjallisuustutkimuksella selvitetään työmaan aluesuunnittelun tämän hetkinen tilanne, jonka jälkeen tutkitaan tietomallien hyödyntämistä rakennusalaalla keskittyen erityisesti työmaan aluesuunnitteluun. Tietoa pyritään saamaan paitsi tehdyistä tutkimuksista, myös toimintatavoista eri rakennusalan toimijoiden keskuudessa. Kirjallisuustutkimuksen lähteenä käytetään lähinnä aiheeseen liittyviä kirjoja, sekä Google Scholar:n kautta löydettyjä tieteellisiä julkaisuita. Käytettäviä hakusanoja ovat: aluesuunnitelma, logistiikkasuunnitelma, tietomalli, 4D-malli, rakennustuotannon suunnittelu, kaupunkimalli, SketchUp, työmaalogistiikka, optimointi, lean, sekä näiden sanojen yhdistelmät ja englanninkieliset käännökset.

Haastatteluiden tarkoitus on kerätä tietoa tietomallipohjaisen alue- ja logistiikkasuunnittelun tämän hetkisestä tilasta. Haastattelut jakautuvat kohdeyrityksen sisäisiin haastatteluihin, sekä kansainvälisiin haastatteluihin. Kohdeyrityksen sisäisiin haastatteluihin valitaan työmaahenkilöitä, joilla on kokemusta aluesuunnittelusta ja mallintamisesta. Näin saadaan selville, miten kohdeyrityksessä hyödynnetään tietomallipohjaista aluesuunnittelua työmailla. Kansainvälisten haastatteluiden avulla selvitetään, miten muualla hyödynnetään tietomallipohjaista aluesuunnittelua. Haastatteluiden pohjalta valitaan parhaat toimintatavat, joita käytetään case-kohteen aluesuunnittelussa ja mallinnetun aluesuunnitelman hyödyntämisessä.

Case-tutkimus toteutetaan kohdeyrityksen alkavassa laajassa ja monimuotoisessa hankkeessa, jossa tämän tutkimuksen tekijä toimii projekti-insinöörinä ja työsuojelupäällikkönä. Hankkeen aikana on tarkoitus hyödyntää tietomallinnusta kohteen alue-, logistiikka- ja turvallisuussuunnittelussa. Case-tutkimuksen aikana on tarkoitus myös verrata perinteistä kaksiulotteisen aluesuunnitelman suunnitteluprosessia tietomallipohjaiseen suunnitteluprosessiin, niin ajankäytön, saatavilla olevien lähtötietojen, että lopputuotteen näkökulmasta.

Diplomityöstä rajataan pois rakennuksen sisäpuolen kerros- ja logistiikkasuunnittelu. Työstä rajataan pois myös yleinen vuokratilustalon hallinta työmaalla, sekä muiden kuin tietomalliin perustuvien teknologioiden hyödyntäminen logistiikan hallinnassa. Lisäksi työstä rajataan pois kohdeyrityksen alue- ja logistiikkasuunnittelun kokonaiskuvan tarkoitus.

## 2 Rakennushankkeen aluesuunnittelu

Tämän luvun ensimmäisessä kappaleessa syvennytään tutkimaan, mikä on aluesuunnitelman tarkoitus rakennushankkeissa. Toisessa kappaleessa selvitetään, mitä asioita aluesuunnitelmassa tulisi esittää. Kolmannessa kappaleessa selvitetään aluesuunnitelman yhteys rakennushankkeen aikatauluun ja neljännessä kappaleessa aluesuunnitelman yhteys rakennushankkeen kustannuksiin.

### 2.1 Aluesuunnittelun tarkoitus

Työmaa-alue on rakennushankkeen voimavara, joka on hankkeen kannalta yhtä tärkeässä asemassa, kuin raha, aika, rakennusmateriaalit, työvoima ja rakennusvälineet. Työmaa-alueen suunnittelu tulee tehdä hyvin, koska tarkoituksenmukaisella työmaan aluesuunnitelmalla on suuri vaikutus työmaan turvallisuuteen ja työn tuottavuuteen. (Elbeltagi ym. 2001.) Ratu ohjekortin mukaan aluesuunnitelma on myös työmaan sisäisen ja ulkoisten logistiikkajärjestelyjen, sekä työ- ja työturvallisuusjärjestelyjen ohje- ja tiedotusväline hankkeessa toimiville henkilöille (Ratu 05-00675 2007, s.1).

Aluesuunnitteluprosessi on päätöksentekoprosessi, jossa työmaan tuotanto ja väliaikaisen toimintaa tukevien asioiden sijainti määritellään parhaalla mahdollisella tavalla niin, että työmaalla on tuottamatonta toimintaa mahdollisimman vähän. Väliaikaisilla toimintaa tukevilla asioilla tarkoitetaan toimintoja, alueita ja kalustoa, jotka eivät tule osaksi valmista tuotetta. Niitä kuitenkin tarvitaan rakennusprosessin aikana tietyn, usein lyhyen ajanjakson ajan. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi varastoalueet, työkalut, telineet ja nostoapuvälineet. (Riley ja Sanvido 1995.)

Optimaalisesti suunniteltu ja toteutettu työmaa-alue on sellainen, jossa työntekijä voi käyttää mahdollisimman paljon aikaa rakennustyön suorittamiseen, eikä aika kulu miinukseen tuottamattomaan toimintaan, kuten materiaalien siirtämiseen. Aluesuunnittelu vaatii useita projektinhallintataitoja, kuten aikatauluttamista, rakennusmenetelmien tuntemusta, hankintataitoa, materiaalien hallintaa, sekä työntekijäresurssien- ja kaluston suunnittelua. Usein aluesuunnitteluprosessiin käytetään liian vähän aikaa, joka näkyy työmaan päivittäisessä toiminnassa tehden työmaatoimintojen hallinnasta vaikeaa. Hyvin tehdyn työmaasuunnitelman ansiosta tuotannossa on todennäköisesti vähemmän häiriöitä. (Deshpande ja Whitman 2014, s.1.). Hardin ja Mccool (2015, s.195) nostavat esille sen, että työmaa-alueen- ja logistiikan suunnittelun tärkeys korostuu varsinkin työmailla joissa materiaaliavirrat ovat suuret ja varastointialueet ovat pienet. Tällaisilla työmailla on erittäin tärkeää tietää, mitä materiaalia toimitus sisältää ja minne materiaali on menossa.

### 2.2 Aluesuunnitelmassa esitettävät asiat

Pääurakoitsijalla on laissa määritelty velvoite aluesuunnitelman tekemiselle. Valtioneuvoston päätöksessä 205/2009 10 § (2009) on määrätty, että päätoteuttajan on esitettävä rakennuttajalle kyseisessä pykälässä tarkoitetut rakennustyömaa-alueen käytön suunnitelmat kirjallisesti. Rakennustyömaa-alueen käytön suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota tapaturmavaarojen sekä terveyttä uhkaavien vaarojen poistamiseen ja vähentämiseen, ainakin seuraavat asiat huomioiden:

- toimisto-, henkilöstö- ja varastotilojen määrä ja sijainti;
- nostureiden, koneiden ja laitteiden sijoitus;
- kaivuu- ja täyttömassojen sijoitus;

- rakennustarvikkeiden ja -aineiden sekä elementtien lastaus-, purkaus- ja varastointipaikkojen sijoitus;
- elementtirakentamisessa nostureiden nostopaikkojen perustus ja maapohjan vahvistus, nostureiden nostosäteet ja -kapasiteetit, nosturinkuljettajien mahdollisimman esteetön näköyhteys elementtivarastoon ja asennuskohteeseen;
- työmaaliikenne, sekä sen ja yleisen liikenteen liittymiskohdat;
- kulku-, nousu- ja kuljetustiet sekä niiden kunnossapito;
- työmaan järjestys ja siisteys sekä pölyn torjuntaan ja hallintaan tarvittavien rakenteiden ja laitteiden sijoitus;
- jätteiden sekä turvallisuudelle ja terveydelle vaaraa tai haittaa aiheuttavien materiaalien kerääminen, säilyttäminen, poistaminen ja hävittäminen;
- palontorjunta;
- varastointialueiden rajaaminen ja järjestäminen, erityisesti kun käsitellään turvallisuudelle ja terveydelle vaaraa tai haittaa aiheuttavia materiaaleja tai aineita. (205/2009 10 § 2009.)

Mawdesley ym. (2002) tiivistävät, että aluesuunnitelmassa on esitettävä väliaikaiset tuotantoa tukevat toiminnot, kuten työmaatilat, varasto-alueet, esivalmistusalueet ja pysäköintialueet. Riley ja Sanvido (1995) mainitsee näiden lisäksi materiaalien purku-paikat, suojeltavat alueet, kulkuväylät ja työmaatiet. Molemmissa lähteissä mainitaan, että projektin erityispiirteet vaikuttavat työmaan aluesuunnitelmissa esitettäviin asioihin.

Kiviniemen ym. (2011, s.54) näkemys aluesuunnitelman sisällöstä ei poikkea edellä esitellyistä näkemyksistä. Keskeisin sisältö aluesuunnitelmassa on:

- Työmaa-alue sekä ympäröivät kadut ja –alueet joihin työmaa vaikuttaa.
- Väliaikaiset työmaakalustot, rakenteet ja välineet.
- Tilavaraukset varastointiin ja tiettyihin työvaiheisiin.
- Työmaavaarojen visualisointi, esimerkiksi riskialueet.

Kirjallisuuslähteiden perusteella voidaan todeta, että aluesuunnitelmassa pitää esittää rakennustyömaan järjestelyt hyvin laajasti ja työvaihekohtaisesti (Riley ja Sanvido 1995; Mawdesley ym. 2002; 205/2009 10 § 2009). Aluesuunnitelmassa esitettävät asiat ovat selvästi yhteydessä työmaalogistiikkaan ja työturvallisuuteen (Elbeltagi ym. 2001; Kiviniemi 2011).

## 2.3 Aluesuunnitelman yhteys aikatauluun

Rakennushankkeen aikataulu asettaa tietyt edellytykset rakennusalueen järjestelyille. Tämän takia aluesuunnitelma on vahvasti sidoksissa hankkeen aikatauluun. Projektin edetessä työmaa-alue tulee järjestellä tulevien aikataulutettujen työtehtävien mukaan niin, että ne voidaan toteuttaa mahdollisimman tehokkaasti ja turvallisesti. (Elbeltagi ym. 2001.)

Aluesuunnitelman yhteys aikatauluun on esitetty myös Ratu C2-0299-ohjekortissa (2007). Ohjekortissa kerrotaan, että aluesuunnittelu on jatkuva prosessi koko hankkeen toteutuksen ajan, koska työmaa-alue muuttuu rakennusvaiheen mukaan. Tämän takia aluesuunnitelma on tiukasti yhteydessä työmaan aikatauluun. Tuotannonsuunnittelu

koostuu yleis- ja rakentamisvaiheen suunnittelusta, aluesuunnitelman laadinnasta ja ylläpitämisestä sekä työmaa-alueen käytön ohjaamisesta aluesuunnitelman mukaiseksi. (Ratu C2-0299 2007.)

Aluesuunnittelu alkaa rakennushankkeen toteutussuunnittelu- ja urakkalaskentavaiheessa, koska alustavat päätökset hankkeen toteutustavasta, kuten lohkottamisesta ja rakennuksen rungon rakennustavasta sekä toteutuksessa käytettävistä työmenetelmistä tehdään silloin. Ennen rakentamispäätöstä tehtävässä aluesuunnittelussa erityishuomio kiinnittyy järjestelyihin, jotka palvelevat työmaata koko rakentamisen ajan ja joista syntyy aikaan ja työsuoritteisiin liittyviä kustannuksia. (Ratu C2-0299 2007.)

Kun rakentamispäätös on tehty alkaa toteutuksen tuotannonsuunnitteluvaihe, jossa työmaa-alueen käyttö suunnitellaan pääpiirteittäin koko rakennusajalle. Rakentamisen edetessä aluesuunnitelmaa täydennetään, muutetaan ja laajennetaan rakentamisvaiheittain. (Ratu C2-0299 2007.)

Työmaan aluesuunnitelma tulisi laatia vähintään maanrakennus-, perustus- ja runko- sekä sisätyövaiheista. Laajoissa tai muuten vaativissa hankkeissa jokaiselle päätyövaiheelle tulisi laatia oma erillinen aluesuunnitelma (Ratu C2-0299 2007). Sutt ym. (2013, s.30) ovat lähes samaa mieltä aluesuunnitelman päivittämisestä, sillä heidän mukaansa aluesuunnitelma tulisi tehdä vaativissa hankkeissa seuraavista rakennusvaiheista: työmaan perustaminen, maanrakennustyöt, perustustyöt, runkovaihe, vaativien tai painavien rakenteiden asennus sisällä ja ulkona, vesikattotyöt, viimeistelytyöt ja kunnallisverkon rakentaminen.

## **2.4 Aluesuunnitelman yhteys kustannuksiin**

Työmaa-alueen järjestelyillä on selvä yhteys rakennushankkeen kustannuksiin. Tämä johtuu siitä, että aluesuunnittelussa voidaan vaikuttaa ihmisten- ja materiaalien siirtymäaikoihin ja odotusaikoihin. Aluesuunnittelulla voidaan vaikuttaa myös työntekijöiden motivaatioon tehokkaan ja turvallisen työympäristön kautta. (Elbeltagi 2008.)

Otetaan esimerkkinä työmaan sosiaalitilojen paikan valinta. Paikan valinnassa tulee ottaa huomioon, että sosiaalitiloja tarvitaan koko työmaan ajan. Jos työmaalle tulee parakkikylä, niin sen siirto on hankalaa ja siitä aiheutuu turhia kustannuksia. Parakkikylän paikan valintaan vaikuttaa myös se, että käyttövesijohto ja viemäri ovat lähettyvillä. Tehokkaan työskentelyn takia on myös tärkeää ymmärtää, että sosiaalitilojen tulee sijaita mahdollisimman lähellä työkohdetta. Tehottoman työajan kustannukset ovat suuret, jos sosiaalitilojen ja työkohteen välillä liikkumiseen kuluu paljon aikaa. Voidaan laskea tehottoman työajan kustannukset, jos sosiaalitilojen ja työkohteen väliseen matkaan kuluu aina 4 minuuttia. Oletetaan kaksi vuotta kestävä työmaan keskivahvuudeksi 120 henkilöä, jolloin työmaatiloiden sijainnista aiheutuva tehottoman työajan kustannus voitaisiin arvioida laskemalla  $120(\text{henk}) \cdot (0,53\text{h} \cdot 21\text{tv} \cdot 22\text{kk}) \cdot 15,79\text{€}/\text{h} \cdot 1,72$ . Laskennallinen tehottoman työajan kustannus on noin 800000 euroa. Laskentaperusteena on käytetty olettamusta, että jokainen työmies tulee työmaalle ja lähtee työmaalta sosiaalitilojen kautta. Olettamuksen mukaan työmies myös käy sosiaalitulassa tauolla kolme kertaa päivässä. Laskentaperusteena on käytetty rakennusalan keskituntiansiota (RT 2013) sekä rakennusalan sosiaalikustannusten osuutta, joka on keskimäärin 72% (RT 2014). Tämä esimerkki antaa aihetta tutkia tarkemmin, onko aluesuunnitelman optimointi mahdollista matemaattisesti.

Työmaan optimaalisen aluesuunnitelman tekeminen on hyvin monimutkainen ongelma, niin ihmiselle kuin tietokoneellekin. Optimaalisen aluesuunnitelman ongelma kuuluu NP-täydellisiin (NP-complete = non-deterministic polynomial time-complete) ongelmiin luokkaan, joille ei ole löydetty ongelman koon suhteen polynomisesti rajatussa ajassa toimivaa ratkaisualgoritmia. (Arikaran ym. 2010.)

Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana useat tutkimukset ovat keskittyneet kehittämään metaheuristista algoritmia työmaa-alueen käytön optimoimiseksi (Liggett 2000). Joissain tutkimuksissa on otettu huomioon myös enemmän muuttujia, kuten työturvallisuus. Mitä enemmän muuttujia on otettu huomioon, sitä monimutkaisempi ongelmasta tulee (Ning ym. 2010). Aiheesta tehdyistä tutkimuksista käy yleisesti ilmi, että ongelman monimutkaisuuden takia yksikään tunnettu menetelmä ei takaa optimaalista ratkaisua, joka ottaisi huomioon kaikki mahdolliset muuttujat. Aiheesta tehdyistä tutkimuksista ei käy selvästi ilmi, onko monimutkaisia optimointimenetelmiä käytännössä hyödynnetty rakennusosalalla työmaa-alueiden suunnittelussa (Deshpande ja Whitman 2014).

Kaikille kombinatorisille optimointiongelmiin on yhteistä se, että niillä on äärellinen määrä sallittuja ratkaisuja. Tällaisten ongelmien rajoitteet ovat diskreettejä ja rajoitettuja, eli esimerkiksi kokonaislukuja joltain äärelliseltä väliltä. Teoriassa kombinatorinen optimointiongelma voidaan ratkaista muodostamalla kaikki mahdolliset ratkaisut, jonka jälkeen niistä voidaan valita paras. Käytännössä tilanne on toinen, koska tehtävät ovat sellaisia, että tehtävän muuttujien määrän kasvaessa sallittujen ratkaisujen määrä kasvaa huomattavasti nopeammin, esimerkiksi eksponentiaalisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että pienet ongelmat voivat ratketa suhteellisen helposti, mutta suuremmilla ongelmilla kaikkien ratkaisujen läpikäyminen on käytännössä mahdotonta. (Blum ja Roli 2003, s.269-270.)

Vaihtoehtona aluesuunnitelman matemaattiselle optimoinnille kirjallisuuslähteissä esiintyi Lean-ajattelu, jossa aluesuunnitelman voi ajatella osaksi suurempaa kokonaisuutta. Lean-ajattelu on johtamisfilosofia, jonka tarkoitus on analysoida ja johtaa koko tuotantoprosessia, eikä vain sen yksittäisiä osia. Kasvava tietoisuus koko tuotantoketjusta parantaa materiaalin ja tiedon virtausta prosessissa (Serra ja Oliveira 2003). Lean-ajattelu pyrkii arvoa tuottamattomien toimintojen poistamiseen tuotantoketjusta (Salem 2005). Arvoa tuottamattomiksi toiminnoiksi tai turhiksi asioiksi lasketaan: kuljetukset, varastot, liike, odotusaika, ylituotanto, yliprosessointi ja viallinen tuote (Womack ym. 2007). Näistä toiminnoista ja asioista kuljetukset, varastot ja liike ovat selvästi yhteydessä aluesuunnitelmaan. Työmaa-alueen suunnittelu on suunnittelua, jolla on suurin vaikutus työmaan sisällä tapahtuvaan logistiikkaan. Aluesuunnitelmassa määrätään useita logistiikkaan sidoksissa olevia asioita kuten: varastoalueet, sosiaalitulojen- ja työmaatoimiston sijainti sekä tuotantoalueet (Serra ja Oliveira 2003).

Lean-ajattelun yksi peruslähdekohdista on, että tuotannosta pitää tehdä kaikilta osin läpinäkyvää koko tuotantoketjun osalta. Tämän takia aluesuunnitelmalla ja lean-ajattelulla on selvä yhteys, koska aluesuunnitelman tarkoitus on havainnollistaa työmaa-alueen järjestelyt ja tuotannon toteutus. Tietomallinnuksen avulla pystytään kasvattamaan havainnollisuutta ja luomaan läpinäkyvyyttä tuotantoketjuun. Tietomallinnuksen avulla tehtävä tuotannon 4D-visualisointi parantaa tuotannon ja tuotantoketjun läpinäkyvyyttä entisestään. (Sacks ym. 2009.)

Työmaa-alue tulee suunnitella niin, että se täyttää määräyksissä annetut vaatimukset. Tämä ei vielä riitä, koska työmaa-alueen tulee olla myös turvallinen sekä tuotannon

kannalta tehokas. Tehoton työmaa aiheuttaa turhia lisäkustannuksia. Tuotannon suunnittelu on myös vahvasti sidoksissa aluesuunnitteluun, koska siinä määritellään missä, milloin ja miten tuotanto toteutetaan ja kuinka paljon materiaaleja tarvitaan missäkin vaiheessa. Kun edellä mainitut asiat suunnitellaan hyvin, voidaan päästä eroon arvoa tuottamattomasta toiminnasta. (Serra ja Oliveira 2003.)

Tässä kappaleessa käytettyjen kirjallisuuslähteiden perusteella voidaan todeta, että työmaan aluesuunnitelmalla on havaittavissa selvä yhteys projektikustannuksiin. Tämä johtuu siitä, että tehottomaksi suunnitellusta työmaasta aiheutuu turhia suoria kustannuksia ihmisten ja materiaalien siirtymä- ja odotusaikojen seurauksena (Serra ja Oliveira 2003; Womack ym. 2007; Elbeltagi 2008). Google Scholar -hakukoneella löytyi paljon tieteellisiä julkaisuita aluesuunnitelman matemaattiseen optimointiin liittyen. Koska optimointimenetelmille ei löytynyt selvää yhteyttä käytännössä tehtävään aluesuunnitteluun (Blum ja Roli 2003), niin menetelmiä ei aiota kokeilla osana tämän diplomityön case-tutkimusta. Sen sijaan case-tutkimuksen tietomallipohjaiseen aluesuunnitelmaan pyritään tuomaan lean-ajattelun piirteistä. Case-kohteen aluesuunnitteluprosessista pyritään myös karsimaan pois arvoa tuottamatonta työtä eli hukkaa.

## 3 Tietomallintaminen rakennushankkeissa

Tässä luvussa tutkitaan tietomallinnusta rakennushankkeissa yleisesti. Ensimmäisessä kappaleessa etsitään kirjallisuuslähteistä erilaisia määritelmiä tietomallinnukselle, jonka jälkeen kirjallisuuslähteiden avulla pyritään luomaan kokonaiskuva tietomallinnusprosessista ja siihen liittyvistä eduista ja haasteista. Toisessa kappaleessa perehdytään rakennusalan yleisiin tietomallivaatimuksiin (YTV2012). Tietomallipohjaisen alue-suunnittelun kannalta on hyvä tietää, mitä eri suunnittelualojen malleilta on edellytetty ja mitä niiltä voidaan edellyttää. Kolmannessa kappaleessa tutkitaan kirjallisuuslähteiden perusteella, miten tietomalleja on hyödynnetty tuotantopuolella eri osa-alueilla.

### 3.1 Tietomallinnus käsitteenä

Tietomallinnus (BIM, Building Information Modeling) on termi, josta löytyy paljon materiaalia kirjallisuudesta. Tietomallinnusta käsitellään kirjallisuudessa useista eri näkökulmista. Joissain lähteissä BIM:llä tarkoitetaan pelkkää tietomallia, mutta laajemmin se voi tarkoittaa myös koko tietomallinnukseen liittyvää prosessia ja teknologiaa. Tietomallinnusteknologian avulla yksi tai useampi virtuaalinen malli rakennetaan virtuaalissa ympäristössä. Mallien avulla voidaan tehdä parempia analyysejä kaksiulotteiseen suunnitteluprosessiin verrattuna. Valmistuessaan mallit ovat mittatarkkoja ja sisältävät tarvittavan tiedon rakentamisen, tuotannon ja hankinnan tueksi. (Eastman ym. 2011.)

Azhar (2011, s. 241-242) määrittelee tietomallinnuksen prosessiksi, jossa rakennuksesta luodaan tietokoneella n-ulottuvuutta sisältävä malli, jota voidaan hyödyntää suunnittelussa, rakentamisessa sekä rakennuksen käyttö- ja ylläpitovaiheissa. Eastmanin (2011) mukaan on tärkeää ymmärtää, että tietomalli ei ole vain 3D-työkalu, vaan se on myös kokonainen tietokanta. Kolmiulotteisuudessa on etuna mallin havainnollisuus, mutta merkittävin asia tietomallissa on siihen liitettävä rakennusosien tieto, joka voi sisältää esimerkiksi tuotetietoa tai fysikaalisia ja toiminnallisia ominaisuuksia. (Hardin ja Mc-cool 2015, s.15.)

Tietomallinnuksen lähtökohtana on muodostaa virtuaalinen rakenne, jonka jälkeen se voidaan toteuttaa fyysisenä rakenteena. Tämä antaa projektin eri sidosryhmille mahdollisuuden suunnitella, analysoida, järjestellä ja tutkia projektia digitaalisessa ympäristössä, jossa virheiden ja muutosten tekeminen on huomattavasti edullisempaa kuin työmaalla rakentamisen edetessä (Hardin ja Mc-cool 2015, s.2). Hellemans (2013) kuvailee asian samalla tavalla ja lisää vielä, että tietomallinnusprosessissa on mahdollisuus vähentää hukkaa aikaan, kustannuksiin, materiaaleihin ja virheisiin liittyen.

Hardinin ja Mc-coolin (2015, s.2) mukaan suurin haaste virtuaalisessa rakentamisessa tällä hetkellä on se, että projekteissa ei hyödynnetä tarpeeksi eri osapuolten välistä yhteistyötä, jonka avulla olisi mahdollista saavuttaa parempia tuloksia. Esimerkiksi aliurakoitsija jolle annetaan aikaisessa vaiheessa mahdollisuus osallistua työn suunnitteluun, voi tuoda esille kallisarvoista tietoa materiaalien asennusnopeudesta, työntekijävahvuudesta sekä asennustavasta. Tällöin virtuaalisesta tietomallista saadaan kokonaisuudessaan parempi. Myös Navi ym. (2014) pitävät tätä haasteena, mutta heidän mukaansa myös muutosvastarinta, työntekijöiden heikko tietomalliosaaminen, vastualueiden ymmärtäminen ja toimintatapojen muuttaminen tuovat omat haasteensa tietomallinnusteknologian hyödyntämiseen.

Suurin osa maapallon johtavista arkkitehti-, insinööri- ja rakennusyrityksistä on luopunut kaksiulotteisista suunnitteluohjelmista ja yritykset ovat siirtyneet käyttämään tieto-

mallinnusta lähes kaikissa projekteissa. Tietomallinnusta pidetään tällä hetkellä johtavana teknologiana rakennusosalalla. Tätä voidaan pitää merkittävänä saavutuksena, koska alalla on vahvat perinteet ja sen takia tunnetusti vahva muutosvastarinta (Eastman ym. 2011, s. vii.)

Hardin ja Mccool (2015, s.15), sekä Eastman (2011, s. vii) painottavat, että tietomallinnus ei ole pelkästään uusi alalle tullut teknologia, vaan sen mukana pitää myös uudistaa prosessit joissa teknologia otetaan käyttöön. Tietomallinnuksessa objekteihin, eli rakenteisiin ja rakennusosiin syötetään parametreina tietoa. Objektit myös ymmärtävät, miten ne ovat yhteydessä muihin objekteihin tietomallin sisällä. Tästä johtuen tietomallit eivät vain muuta tapaa, jolla suunnittelu ja visualisointi tehdään, vaan ne myös vaikuttavat ydinprosesseihin, joilla tieto yhdistetään ja asiat sovitetaan yhteen. Eastman (2011, s.vii) antaa esimerkkejä prosesseista, jotka tulee muuttaa tehokkaammiksi mallinnusteknologian käyttöönoton myötä. Ensimmäisenä on asiakkaan tilavaatimusten huomiointi luonnossuunnitteluvaiheessa. Toisena esimerkkinä on suunnitelmien analysointi energiatehokkuuden, rakenteen, avaruuskonfiguraation, kustannusten tai rakennettavuuden näkökulmasta. Kolmantena esimerkkinä on suunnitteluryhmien jäsenten välinen yhteistyö saman suunnittelualan sisällä sekä eri suunnittelualojen välillä. Neljäntenä esimerkkinä on, miten rakennus on oikeasti rakennettu sekä miten rakennusta on käyttövaiheen aikana käytetty ja huollettu. Tietomallinnuksen avulla näitä kaikkia prosesseja on mahdollista tehostaa. Näiden edellä mainittujen asioiden lisäksi tietomallinnus tuo myös täysin uusia mahdollisuuksia, kuten automaattinen rakenteiden törmäystarkastelu ja suunnittelijoiden työskenteleminen reaaliaikaisesti saman projektin parissa.

Onnistunut tietomallien käyttö yleisesti vaatii kolmea asiaa: tehokasta prosessia, oikeanlaista teknologiaa ja asennetta. Rakennusosalalle on tyypillistä, että uusi teknologia pyritään ottamaan käyttöön muuttamatta vanhoja prosesseja. Tämä aiheuttaa hukkaa, koska uuden teknologian käyttöönottamisessa tulisi myös huomioda, minkälaisissa prosesseissa siitä saataisiin kaikki hyöty irti. Tästä esimerkkinä muutos, jolloin 3D-törmäystarkastelut tulivat alalle. Alussa suunnittelijat järjestivät viikoittain lukuisia törmäystarkastelupalavereita, joissa koko projektihenkilöstö oli paikalla. Näin oli totuttu toimimaan 2D-suunnitelmien koordinoinnissa, mutta se oli hyvin tehoton toimintatapa ja törmäystarkastelut siirtyivätkin myöhemmin tehtäviksi pilvipalveluissa, joissa käyttäjä saa heti ilmoituksen mahdollisista törmäyksistä. Toinen osatekijä onnistuneessa tietomallien käytössä, eli oikean teknologian valinta tarkoittaa sitä, että organisaation on valittava heidän käyttöönsä parhaiten sopivat ohjelmistot. Uuden teknologian käyttö tulisi aina parantaa organisaation toimintaa tai tapaa työskennellä. Kolmas osatekijä onnistuneessa tietomallien käytössä on ihmisten asenne organisaatiossa. Ihmisten tulee ymmärtää, että avarakatseisella ja innostuneella asenteella tietomalleja kohtaan voidaan saavuttaa paljon parempia tuloksia kuin skeptisellä ja ahdasmielisellä lähestymistavalla. (Hardin ja Mccool 2015, s.2-8.)

### **3.2 Yleiset tietomallivaatimukset 2012**

Rakennusosalalla nopeasti lisääntynyt tietomallien käyttö loi tarpeen alan yhteisille tietomallivaatimuksille ja tietomallinnuskäytäntöjen kehittämiseksi. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 (YTV2012) on laajan COBIM-kehityshankkeen tulos. Hankkeessa oli mukana keskeisinä osapuolina kiinteistöjen omistajia, rakennuttajia, rakennusliikkeitä, suunnittelutoimistoja sekä ohjelmistotaloja. Rakennushankkeen kaikissa vaiheissa eri osapuolilla on tarve ja halu määritellä entistä täsmällisemmin miten ja mitä mallinnetaan. YTV2012 on julkaisusarja, jossa on esitetty vähimmäisvaatimukset tietomallin-



nukselle. Kyseisen julkaisusarjan vaatimusten käytöstä hankkeessa on sovittava aina erikseen. Julkaisusarja koostuu seuraavista 14 osasta (RT-11066 2012, s.2-6.):

- Osa 1 Yleinen osuus
- Osa 2 Lähtötilanteen mallinnus
- Osa 3 Arkkitehtisuunnittelu
- Osa 4 Talotekninen suunnittelu
- Osa 5 Rakennesuunnittelu
- Osa 6 Laadunvarmistus
- Osa 7 Määrälaskenta
- Osa 8 Havainnollistaminen
- Osa 9 Mallien käyttö talotekniikan analyyseissä
- Osa 10 Energia-analyysit
- Osa 11 Tietomallipohjaisen projektin johtaminen
- Osa 12 Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana
- Osa 13 Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa
- Osa 14 Tietomallien hyödyntäminen rakennusvalvonnassa. (RT-11066 2012, s.5.)

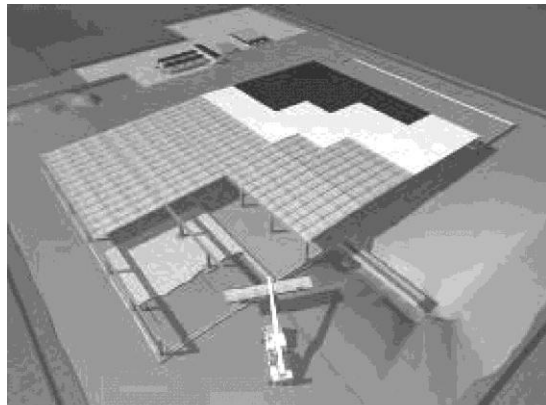
Tietomallinnettavassa rakennushankkeessa eri suunnittelualat luovat omat tietomallinsa ja pääsuunnittelijan tehtävä on vastata tietomallien yhteensovittamisesta. Tietomallintamisen tarkkuustaso on riippuvainen hankkeen vaiheesta ja tietomallin hyödyntämistarpeesta. Tarkkuusvaatimukset voidaan pääosin jakaa kolmeen tasoon, joiden sisällä on pieniä eroja eri rakenneosien välillä (RT-10-11068 2012, s.7.):

- Taso 1: käyttötarkoitus on suunnittelijoiden välinen kommunikaatio ja suunnitelmien yhteensovittaminen. Sijainti ja geometria tulee olla mallinnettu vaatimusten mukaisesti sekä rakennusosat tulee olla nimetty kuvaavasti.
- Taso 2: käyttötarkoituksina ovat hanke- ja luonnosvaiheissa energia-analyysit sekä rakentamisen valmisteluvaiheessa rakennusosapohjainen määrälaskenta. Sijainti ja geometria tulee olla mallinnettu vaatimusten mukaisesti sekä rakennetyypit tulee olla määriteltä ja nimetty oikein. Tuoteosat tulee olla mallinnettu niin, että kappalemäärät ja muu oleellinen määrätieto saadaan tuotetyypeittäin mallista.
- Taso 3: käyttötarkoituksina ovat työmaan aikataulut ja hankinnat. Sijainti ja geometria tulee olla mallinnettu vaatimusten mukaisesti. Hankintaa varten oleelliset tiedot tulee olla attribuutti- tai vastaavina kenttinä rakennusosissa ja ne tulee voida listata ulos, esimerkiksi ikkunan tyyppi, aukkomitat ja desibelivaatimukset. (RT-10-11068 2012, s.7.)

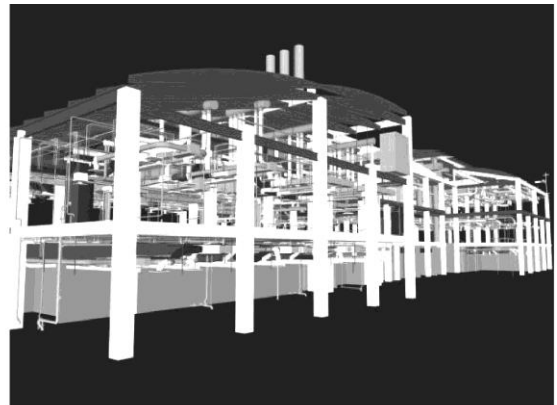
### **3.3 Tietomallien hyödyntäminen rakennushankkeissa**

Merivirran (2011, s.36-53) rakennustyömailla tekemän haastattelututkimuksen mukaan 3D- ja 4D-malleja käytetään työmailla pääosin työn suunnitteluun ja visualisointiin. Azhar (2011, s. 241-242) esittää kuvassa 1, että tietomallia voidaan hyödyntää esimerkiksi (a) työmaalogistiikan suunnittelussa, (b) eri suunnittelualojen yhdistelmämallina, (c) rakennushankkeen vaiheistuksessa tai (d) rakennuksen käyttövaiheessa, kohteen huoltotiedot sisältävän mallin avulla. Mallit on koettu hyödyllisiksi työmailla rakennus-

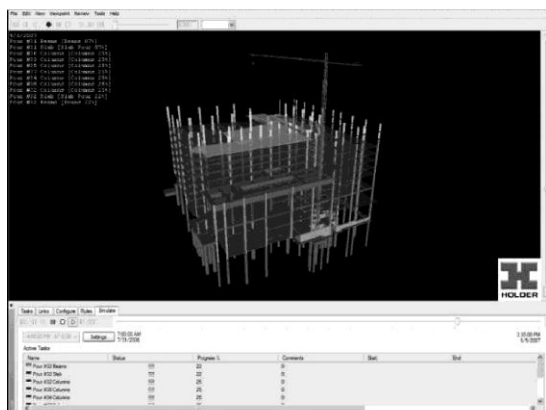
projektien sen hetkisen tilanteen visualisoinnissa. Yleisesti kävi ilmi, että tietomallinnus nähdään työkaluna, joka tuo lisäarvoa rakennustyömaan turvallisuussuunnittelulle. Rakentamalla tuleva rakennus etukäteen virtuaalisessa ympäristössä, voidaan turvallisuusriskit ja arvaamattomat tilanteet havaita ja sulkea pois jo tietokoneella, joten ne eivät pääse realisoitumaan rakennusprojektin aikana. Mallin visuaalisuus nähtiin haastatteluiden tuloksissa sen suurimpana etuna. (Merivirta 2011, s.36-53.)



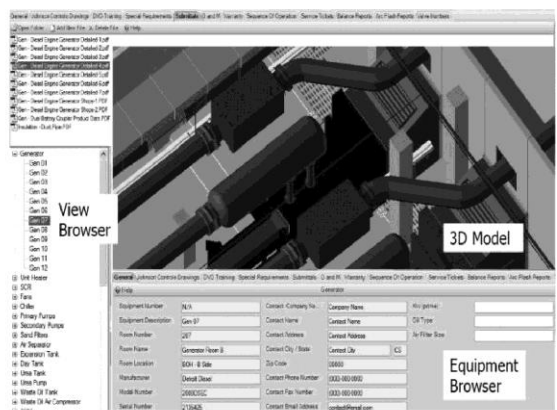
(a) Site Logistic Planning Model



(b) Integrated Structural & MEP Model



(c) Construction Sequencing Model



(d) Facility Information Model

**Kuva 1: Esimerkkejä tietomallien käytöstä rakennusalalla (Azhar 2011, s.242.).**

Projektikustannusten ennustaminen ja seuraaminen on mahdollista tietomallin avulla missä tahansa projektin vaiheessa. Projektin alkuvaiheessa on hyvä määrittellä tietyt budjetit eri osa-alueille. Budjetti ohjaa suunnittelua ja suunnitelmien tarkentuessa myös kustannusennuste tarkentuu. Tämän avulla voidaan verrata myös eri suunnitteluratkaisuiden vaikutusta kustannuksiin. Suurin osa kustannusarvioista perustuu mallinnusobjektin ja ulkoisen tietokannan väliseen yhteyteen. Mallinnusobjekti saa kustannustiedon ulkoisesta tietokannasta ja mallista saadut määrät kerrotaan yksikköhinnoilla, jolloin saadaan kustannusarvio. Ulkoista tietokantaa voidaan päivittää käyttäjän tarpeiden ja hinnan muutosten mukaan, jolloin siitä saadaan enemmän irti. Suurin osa yrityksistä hyödyntää edellisten projektien toteutuneita kustannustietoja uusien projektien kustannusarvioissa. (Mohandes ja Marsono 2015, s.21-22.)

Rakennusurakoitsijat käyttävät yhä enemmän tietomallia tuotannon ohjauksessa, sidosryhmien välisen viestinnän parantamisessa sekä tuotannon simuloinnissa. Tuotannon 4D-simuloinnissa voidaan havaita mahdollisia rakenteiden törmäyksiä. Törmäykset poistamalla voidaan vähentää häiriöitä ja turhaa työtä, jonka ansiosta voidaan säästää rahaa ja nopeuttaa aikataulua. (Deshpande ja Whitman 2014, s.2.). Seppäsen ym. (2015)

mukaan kriittinen vaihe rakennustuotannon ohjauksessa on juuri se, että ongelmat on tuotava esille mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Kiviniemi ym. (2011, s.42) esittävät kolme menettelyä, joiden avulla on mahdollista parantaa rakennustyömaan työturvallisuutta:

- Tietomallipohjainen turvallisuussuunnittelu. Se voi käsittää esimerkiksi aluesuunnittelun, putoamissuojaussuunnittelun sekä työsuunnittelun sellaisissa töissä jotka sisältävät paljon riskejä, kuten muottityö.
- Riskianalyysit ja turvallisuuden arviointi tietomallin avulla. Tällä hetkellä mallinnusta voidaan hyödyntää visuaalisena apuvälineenä, mutta tulevaisuudessa sen hyödyntäminen onnistuu myös automatisoidusti.
- 3D- ja 4D-visualisointi työturvallisuuteen liittyvässä kommunikoinnissa. Tietomallia voidaan hyödyntää esimerkiksi työmaan esittelyssä, työmaaperehdytyksessä tai vaaraa aiheuttavasta työstä varoittamisessa.

### **3.4 Yhteenveto tietomallintamisesta rakennushankkeissa**

Tässä luvussa tutkittiin yleisesti tietomallinnusta rakennushankkeissa. Ensimmäisessä kappaleessa etsittiin kirjallisuuslähteistä erilaisia määritelmiä tietomallinnukselle ja sen käytölle. Kirjallisuuslähteissä oli havaittavissa yhtenäinen näkemys siinä, että tietomallinnus on rakennusalan vakiintunut teknologia ja prosessi, jonka hyödyt on selvästi havaittavissa (Azhar 2011; Eastman 2011; Hardin McCool 2015). Mallin suurimpana etuna nähtiin sen havainnollisuus. Mallista saadaan kaikki hyöty irti, vasta kun muutetaan koko prosessia, missä uusi teknologia otetaan käyttöön (Eastman 2011; Hardin McCool 2015).

Toisessa kappaleessa tuotiin esille rakennusalan yleiset tietomallivaatimukset (YTV2012). Kappaleessa esiteltiin myös tietomallinnuksen kolme eri tarkkuustasoa, koska niiden ymmärtäminen on tärkeää jos suunnittelijoiden malleja hyödynnetään työmaan aluesuunnittelussa tai muussa tuotannonsuunnittelussa.

Kolmannessa kappaleessa etsittiin kirjallisuudesta tietoa siitä miten rakennushankkeissa yleisesti hyödynnetään tietomalleja. Tietomalleja voidaan hyödyntää työmaalle monipuolisesti, esimerkiksi logistiikan suunnittelussa, 4D-malleissa, kustannusennustamisessa ja -seurannassa, suunnitelmien yhteensovittamisessa ja turvallisuussuunnittelussa. (Merivirta 2011; Azhar 2011).

## 4 Tietomallipohjainen alue- ja logistiikkasuunnittelu

Tässä luvussa pyritään löytämään käyttökelpoiset tietomallinnustyökalut ja toimintatavat aluesuunnitelman laatimiseksi. Löydöksiä hyödynnetään myöhemmin luvun 5 case-tutkimuksessa. Ensimmäisessä kappaleessa tutkitaan, mitä kirjallisuuslähteissä on yleisesti löydettävissä tietomallipohjaisesta alue- ja logistiikkasuunnittelusta. Toisessa kappaleessa tutustutaan kaupunkimalleihin ja etsitään tietoa siitä, mitkä kaupungit ovat tehneet malleja ja mistä valmiita kaupunkimalleja olisi mahdollista saada työmaan aluesuunnitelman lähtötiedoksi. Kolmannessa kappaleessa perehdytään neljään kirjallisuuslähteistä löytyvään case-tutkimukseen, joissa tietomallinnusta on hyödynnetty alue- ja logistiikkasuunnittelussa. Neljännessä kappaleessa tutkitaan haastatteluiden ja kirjallisuuslähteiden avulla, miten kahdeksassa eri yrityksessä on hyödynnetty tietomallipohjaista aluesuunnittelua, mitä ajatuksia se herättää ja mitä aiheeseen liittyvää on opittu. Viidennessä kappaleessa tehdään suunnitelma sille, miten luvun 5 case-kohteen tietomallipohjainen aluesuunnittelu toteutetaan.

### 4.1 Tietomallipohjainen alue- ja logistiikkasuunnittelu kirjallisuudessa

Tietomallipohjaisen aluesuunnitelman käytössä tulisi ottaa huomioon, miten mallinnusteknologiaa hyödynnetään aluesuunnitteluprosessissa. Tietomallipohjaisesta aluesuunnittelusta ei saada kaikkia hyötyjä irti, jos sitä pyritään vain suoraa istuttamaan vanhaan kaksiulotteiseen aluesuunnitteluprosessiin. Niin kuin Hardin ja Mccool (2015) painottavat on uuden teknologian ympärille kehitettävä uusi toimintatapa. Sulankivi ym. (2009, s.49) taas esittävät, että samat standardit ja periaatteet pätevät niin perinteisessä kaksiulotteisessa aluesuunnittelussa kuin tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussakin. Tietomallipohjainen suunnittelu tuo vain uusia mahdollisuuksia suunnitteluun ja tiedon esittämiseen. Korkeuseroja, pinnan muotoja, sekä muita mahdollisia riskitekijöitä ei välttämättä pysty esittämään kaksiulotteisessa aluesuunnitelmassa, mutta ne voidaan esittää kolmiulotteisessa mallissa.

Kolmiulotteisen esitystavan tuoman visuaalisuuden takia tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa tulee Sulankiven ym. (2009, s.50) mukaan panostaa mallinnustarkkuuteen. Kolmiulotteisessa esitystavassa työmaakalustoa kuvaavien objektien tulee olla havainnollisia ja todenmukaisia. Tietomallipohjaisen aluesuunnittelun tavoitteena on saada tietomallipohjaiseen aluesuunnitelmaan aikaulottuvuus mukaan, jotta aluesuunnitelma on ajantasainen rakentamisen dynaamisen luonteen takia (Sulankivi ym. 2009, s.50). Samaa mieltä aikariippuvuuden tärkeydestä on myös Zhaoyang ym. (2005).

New Yorkin kaupungille on luotu oma osasto (NYC BOD, New York City Department of Buildings), jonka tehtävänä on edistää rakennusten ja rakennustyömaiden turvallisuutta. Sen tehtävänä on myös valvoa kaupungin rakennusmääräyksiä, kaavoitusta, työoikeuslakia sekä kaupungin useita asumislakeja. Osasto on julkaissut tietomallinnukseen liittyvän ohjeen ja standardin (BIM Site Safety Submission Guidelines and Standards), joka tukee työmaasuunnitelmien tietomallintamista. Valmiit aluesuunnitelmat suositellaan lataamaan digitaalisesti tietojenhallintaohjelmaan, jossa NYC BOD-osasto voi korjata ja arvostella niitä. Tämän on luvattu parantavan suunnitelmien arviointiprosessia sekä nopeuttavan hyväksymisprosessia. Englannissa rakennusvalvontaviranomaiset pyrkivät kehittämään samanlaisen järjestelmän. (Mordue ja Finch 2014, s.27-28.)

Eastmanin (2011 s. 281-285) mukaan perinteiset aikataulut ovat hyvin vaikeasti ymmärrettäviä varsinkin niille, jotka eivät ole aktiivisesti projektissa mukana. Jos aikataulu olisi sidoksissa tietomalliin, olisi se paljon havainnollisempi ja rakennusvaiheen yhteys työmaalogistiikkaan ja aluesuunnitelmaan olisi helpommin ymmärrettävissä. 4D-mallin etuja ovat visuaalisuus, parantuva kommunikointi sidosryhmien välillä, työmaalogistiikan suunnittelun ja aikataulun seurannan helpottuminen.

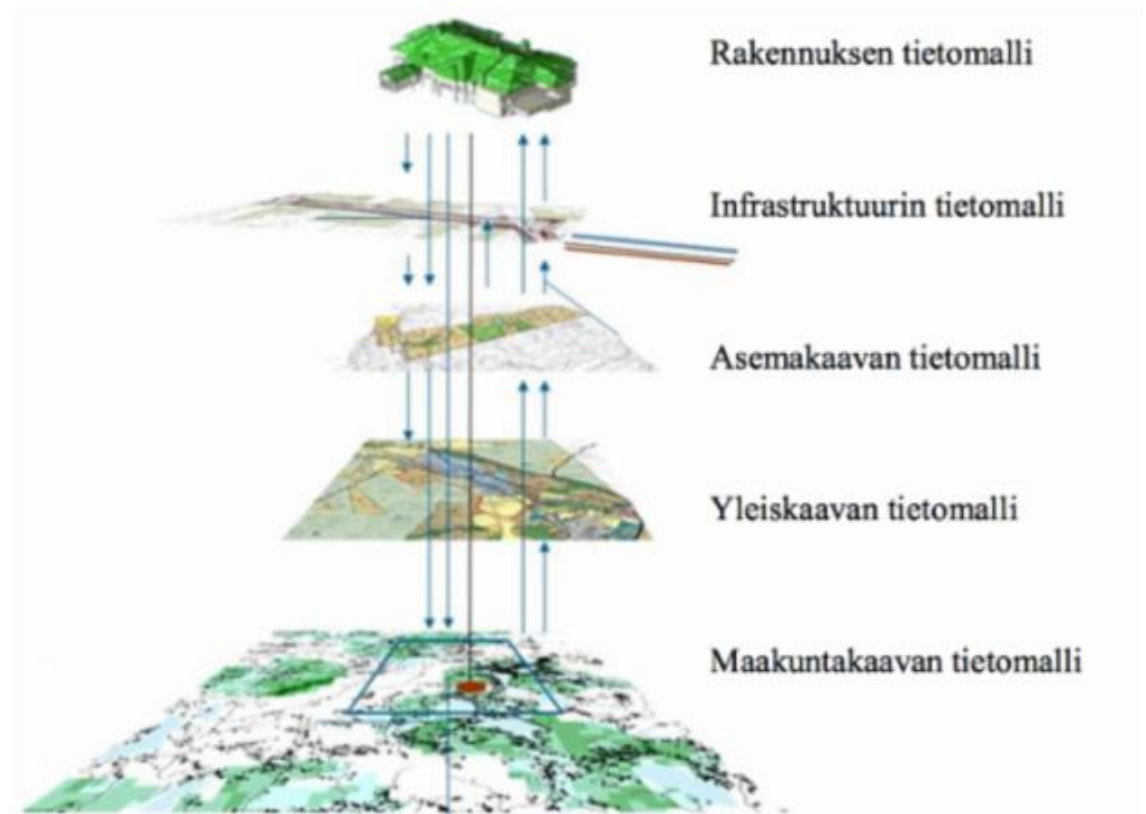
Useimmat tietomallinnustyökalut on kehitetty suunnittelijoiden tarpeet silmälläpitäen. Tämän takia ohjelmat eivät palvele rakennusurakoitsijoita parhaalla mahdollisella tavalla. Rakennusurakoitsijoiden käyttöön on kehitetty myös omia ohjelmia, kuten Naviswork, Vico Office ja Synchro. Sellaista ohjelmaa ei kuitenkaan vielä ole urakoitsijoiden käytössä, joka sisältäisi täydellisen työmaan aluesuunnittelussa hyödynnettävän objekti-kirjaston. Objekti-kirjaston tulisi sisältää työmaakalustoa ja muita väliaikaisia työmaa varusteita, jotka olisivat välttämättömiä tehokkaan tuotannonsuunnittelun kannalta. (Deshpande ja Whitman 2014, s.2.)

## **4.2 Tietomallipohjaisen aluesuunnitelman yhteys kaupunkimalliin**

3D-kaupunkimalli on kaupungista tai sen osasta tehty digitaalinen malli, jossa voidaan esittää esimerkiksi maasto, rakennukset, kasvillisuus sekä infrastruktuuri. 3D-kaupunkimalli on perinteisesti ollut vain kolmiulotteinen kuva, eli kuorimalli. Nyt ajankohtainen aihe paikkatiedon alalla on semanttinen 3D-kaupunkimalli, johon voidaan liittää geometrian lisäksi myös ominaisuustietoa. Ominaisuustieto mahdollistaa mallin laajemman hyödyntämisen ja käytön monissa erilaisissa sovelluksissa sekä suunnittelu- ja analysointitehtävissä. (Liukkonen 2015.)

3D-kaupunkimalleja on jo tuotettu Suomessa Helsingissä, Espoossa, Vantaalla ja Tampereella. Kunnilla on noussut esille useita avoimia kysymyksiä liittyen kaupunkimallien tuotantoon, tarvittaviin teknologioihin sekä ylläpitoon. Avoimet kysymykset johtuvat siitä, että Suomessa ei ole kansallista ohjeistusta 3D-kaupunkimallintamiseen tai standardia kaupunkimallien yhtenäistämiseen. (Liukkonen 2015.)

Kuvassa 2 on nähtävissä miten yksittäisen rakennuksen tietomalli sijoittuu muihin kaupunkimallin suunnittelualoihin nähden. Rakennuksen tietomalli on ylimmällä tasolla, joka kuvaa sitä, että rakennus suunnitellaan johonkin olemassa olevaan ympäristöön. Kaupunkimallin päälle on mahdollista tehdä myös työmaan aluesuunnitelma, jos kaupunkimalli on saatavilla. Tällöin aluesuunnitelma sijoittuu oikealle paikalle, oikeaan ympäristöön ja ympäristön asettamat rajoitteet pystytään ottamaan alue- ja tuotannonsuunnittelussa paremmin huomioon. Tämän lisäksi aluesuunnittelussa säästyy paljon aikaa, kun rakennusalueen olemassa olevaa ympäristöä ei tarvitse mallintaa joka projektissa erikseen. Valmiin kaupunkimallin ympäristö on myös tarkka ja havainnollinen, jolloin kommunikointi ja viestintä aluesuunnitelman avulla helpottuu.



Kuva 2: Tietomalleja eri suunnittelun tasoilla (Savisalo 2014).

Helsinki Region Infoshare:n (HRI) Internet-sivuilla on ladattavissa SKP-muodossa Helsingin pintamalli –aineisto, jossa on yhdistetty maanpintaa kuvaava 3D-pintamalli, kaupunkia kuvaavat ortoilmakuvat ja Helsingin 3D-rakennukset. 3D-rakennukset on esitetty LOD1-tarkkuustasolla, eli rakennukset ovat mallissa yksinkertaisia kuutioita. Aineisto kattaa koko Helsingin kaupungin alueen. Aineiston ylläpidon lähtötietoina ovat kantakartta sekä korkeustiedot eri muodoissa. (Helsinki Region Infoshare 2016.)

Tampereen kaupunkimalli sisältää koko kaupungin alueelta kolmioidun pintamallin, rakennusten harja- ja räystäsviivat sekä yleisimmät elementit kuten puut, valaisimet, kaiteet ja aidat. Kaupunkimalli sisältää myös tekstuurihakemiston, josta on esimerkiksi löydettävissä kaupungin ortoilmakuvat pintamallin visualisointiin. Kaupunkimallin etuna nähdään, että suunnittelijat välttyvät sen avulla mallintamasta olemassa olevaa kaupunkiympäristöä jokaisessa hankkeessa uudelleen. Tarkoitus on, että kaupunkimallia hyödyntävät tahot palauttavat mallin tarkennukset kaupungille, jolloin kaupunkimalli kehittyy hankkeiden kautta. (Isotalo 2013.)

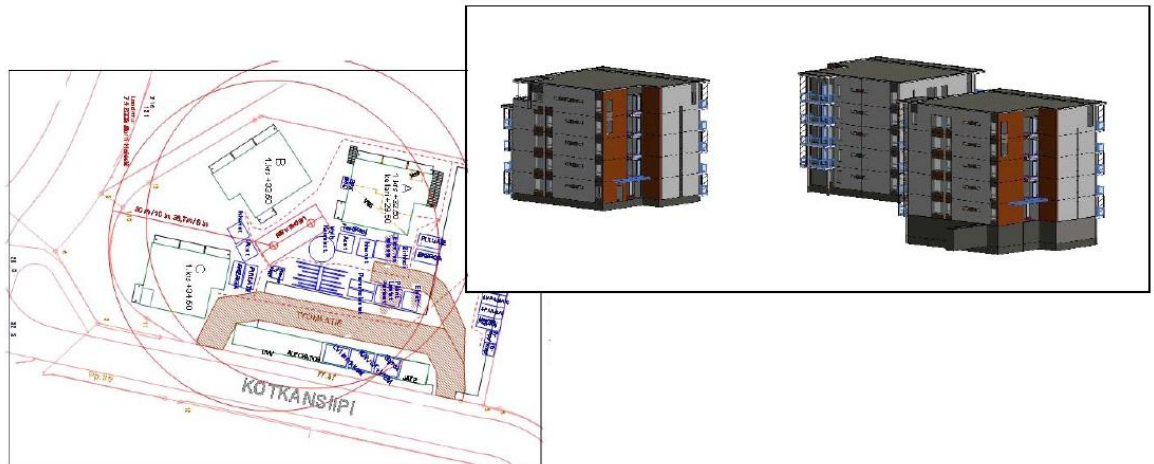
## 4.3 Case-hankkeet kirjallisuudessa

### Asuntorakennuskohde Ankkahovi

Kiviniemi ym. (2011, s. 53-55) mallinsivat jo valmistuneen asuinrakennuskohteen aluesuunnitelman kokeillakseen tietomallipohjaista aluesuunnittelua. Case-hankkeessa lähtötietoina olivat valmis arkkitehtimalli ja työmaalla käytössä ollut 2D-aluesuunnitelma. Tietomalli on tehty sisävalmistusvaiheen aluesuunnitelmasta, eli samasta rakennusvaiheesta kuin kuvassa 3 näkyvä 2D-aluesuunnitelma.

Mallinnus tehtiin ArchiCAD 11:sta ja mallintamisessa käytettiin hyödyksi itse tehtyä TurvaBIM-objektikirjastoa, joka sisälsi väliaikaista työmaakalustoa. TurvaBIM-

objektikirjasto jouduttiin kasaamaan itse, koska tutkimuksen aikana huomattiin, että väliaikaista työmaakalustoa ja laitteita oli heikosti saatavilla valmiista objektikirjastoista. (Kiviniemi 2011, s.54.)



**Kuva 3. Case-hanke Ankkahovin lähtötiedot (Kiviniemi ym. 2011, s.54).**

Maanpinta mallinnettiin suurpiirteisesti verkko-työkalun avulla, joka oli valmiiksi mallinnusohjelmassa käytössä. Korko on lähempänä valmiin pinnan korkoa, kuin työmaa-aikaista maanpinnan korkoa. (Kiviniemi 2011, s. 54.)

Kuvassa 4 on kaksi yleisnäkymää valmiista tietomallipohjaisesta aluesuunnitelmasta. Aluesuunnitelmassa on esitetty seuraavat asiat:

- Rakennukset: Kolme arkkitehdin mallintamaa kerrostaloa.
- Työmaa-alue ja ympäristö: Työmaa-alue ja työmaatiet, viereiset tiet ja teiden nimet, viereiset korttelit ja rakennukset karkeasti mallinnettuina, pysäköintialueet (eivät olleet merkitty lähtötietona olleeseen 2D aluesuunnitelmaan).
- Työmaatilat ja aitaus: työmaatoimisto, varastotilat sekä työmaa-aitaus.
- Työmaakalusto: torninosturi, sirkkeli ja betonimylly.
- Työmaan sähköistys ja valaistus: pääkeskus.
- Varasto-alueet: lämpöeristeet, harjateräkset, ikkunat, putket, jätelavat 3D-teksteillä (esimerkiksi puujäte), elementtifakki ja elementtien varastointialue.
- Visualisointi: nosturin ulottuma, kävelytiet ja ajoneuvot. (Kiviniemi ym. 2011, s.54-55.)

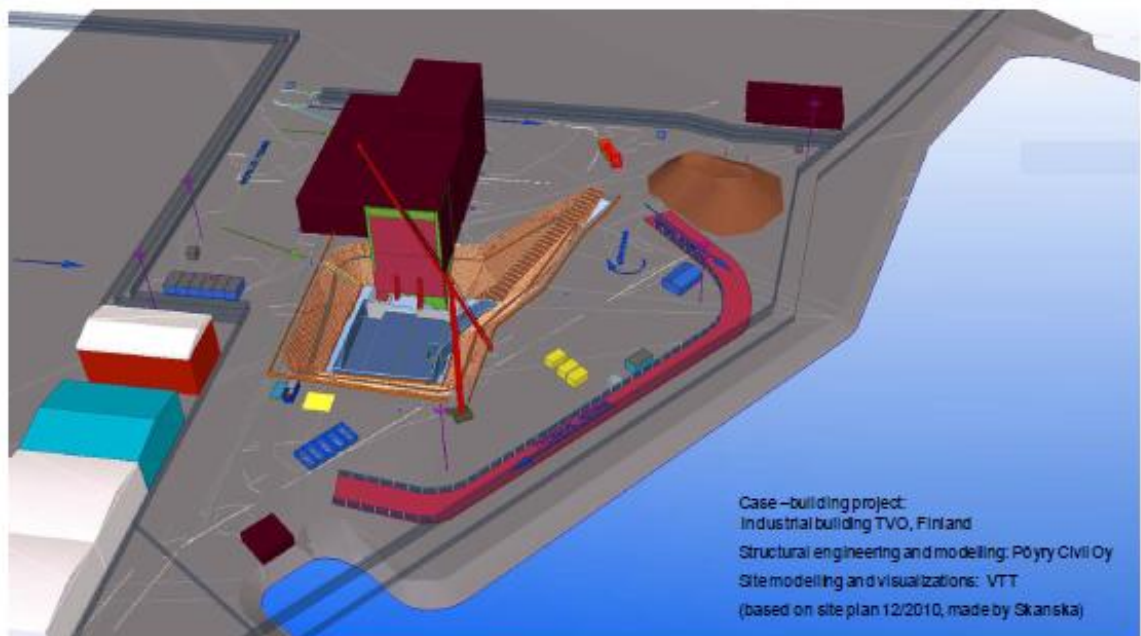




Kuva 4: Yleisnäkymiä case-hanke Ankkahovin aluesuunnitelmasta (Kiviniemi ym. 2011, s.55).

### Teollisuusrakennusprojekti TVO

Toisena case-hankkeena Kiviniemi ym. (2011, s.55-57) tutkimuksessa esitellään teollisuusrakennushanke, jossa työmaahenkilöstö mallinsi aluesuunnitelman ArchiCAD:llä. Aluesuunnitelma mallinnettiin myöhemmin myös Tekla Structuresilla, koska VTT:n edellisessä TurvaBIM projektissa oli huomattu, että Teklan 4D-työkalu on kehittyneempi ja joustavampi kuin ArchiCAD:n vastaava työkalu. Teklalla pystyttiin tekemään dynaamisempia 4D-simulaatioita. Kuvassa 5 on nähtävissä Teklalla tehdyn mallin 3D-näkymä ja kuvassa 6 on 2D-näkymä suoraa kohteen päältä.



Kuva 5: Teollisuusrakennus TVO -työmaasta Teklalla mallinnettu aluesuunnitelma (Kiviniemi ym. 2011, s. 56).





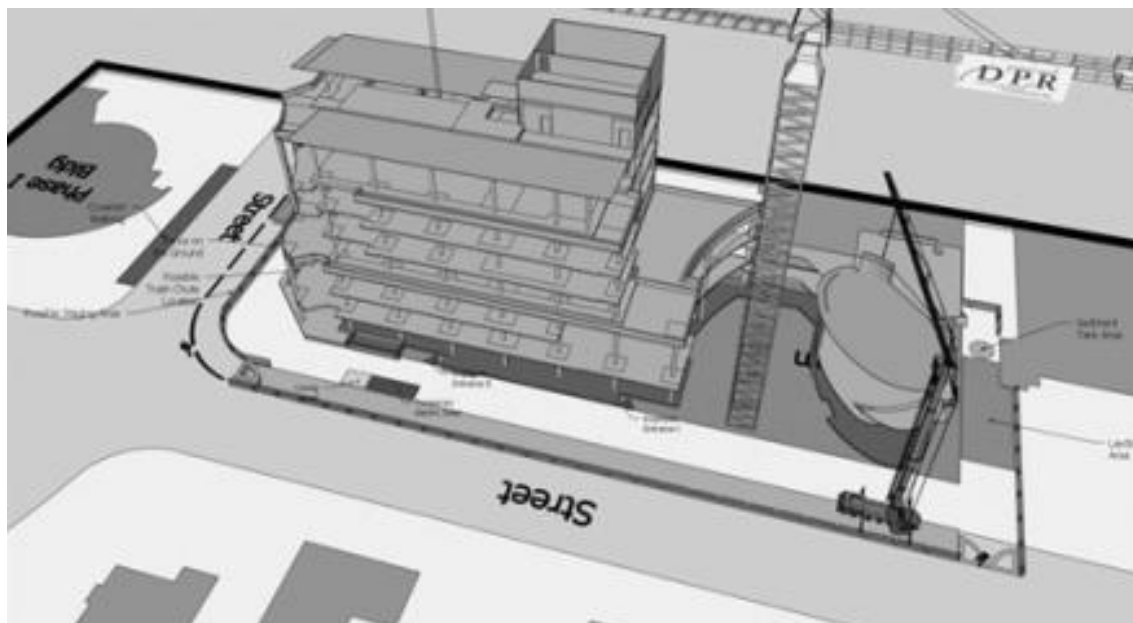
**Kuva 6: Teollisuusrakennus TVO -työmaasta Teklalla mallinnettu aluesuunnitelma päältä kuvattuna (Kiviniemi ym. 2011, s. 57).**

Ankkahovi- ja TVO -hankkeista saatujen kokemusten perusteella huomattiin, että Tekla Structures on parempi ohjelma aluesuunnitelman mallintamisessa kuin ArchiCAD. Tämä johtuu siitä, että rakennemalli sisältää rakennusosien todellisen geometrian ja Teklaa käytetään jo nyt työmailla usein 4D-aikatauluttamisessa. Turvallisuussuunnittelun pitäisi olla osana muuta tuotannon suunnittelua. Tämän takia myös väliaikainen työmaakalusto ja muut aluesuunnitelmassa esitettävät asiat tulisi mallintaa ja aikatauluttaa samaan näkymään, jossa esitetään myös pysyvien rakenteiden asennus 4D:nä. (Kiviniemi ym. 2011, s.59.)

Teklan heikkouksiksi Ankkahovi ja TVO hankkeista saatujen kokemusten perusteella mainittiin alue- ja tuotannonsuunnittelussa hyödynnettävien valmiiden objektien puuttuminen, visualisoinnissa hyödynnettävän kameratyökalun puuttuminen, animaatiotyökalujen puuttuminen sekä yleisesti heikko visuaalisuus. Teklalla tehty aluesuunnitelma ei näytä visuaalisesti niin todenmukaiselta kuin ArchiCAD:llä tehty aluesuunnitelma, koska Tekla on rakennesuunnitteluohjelma ja tietyn värisillä rakenteilla on aina oma rakenteellinen merkitys. Tämän takia mallin visuaalisuus kärsii, koska rakenteiden pinnastruktuurit eivät ole todenmukaisia. Tutkimuksessa käytetyllä Teklan versiolla ei myöskään pystynyt tekemään animaatioita, joiden avulla olisi esimerkiksi voinut tehdä virtuaalisen työmaakierroksen työmaaperehdytyksen tueksi. ArchiCAD:llä tällaisia animaatioita pystyy tekemään. (Kiviniemi ym. 2011, s.60.)

### **Talonrakennustyömaan aluesuunnitelma SketchUp:lla**

JongHoon ja Castillo (2015) esittelevät case-tutkimuksen, jossa työmaan aluesuunnitelma mallinnettiin SketchUp:lla. Ennen aluesuunnitelman mallintamista päätettiin, että siinä halutaan esittää ympäröivät tiet, purku- ja varastointialueet, työmaa-aidat ja ajoportit, nosturi ja betonipumppu, hätäpoistumistiet, pysäköintialueet ja työmaatilat. Kuvasessa 7 on kohteen aluesuunnitelma ja siinä on esitetty kaikki tavoitteena olleet asiat.



Kuva 7: Case-tutkimuksessa mallinnettu aluesuunnitelma (JongHoon ja Castillo 2015).

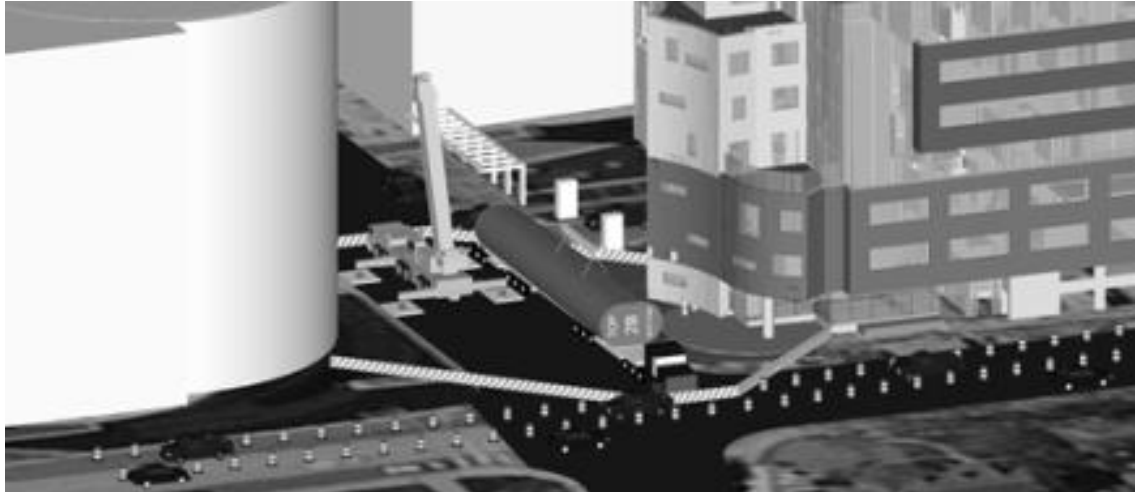
Case-tutkimuksen kuvassa 7 näkyvää aluesuunnitelmaa hyödynnettiin ja päivitettiin kohteen rakentamisen aikana. Aluesuunnitelmaa käytettiin kommunikoinnin apuvälineenä logistiikan suunnitteluun liittyvissä palavereissa. Mallin avulla valittiin muun muassa paras mahdollinen torninosturi mallintamalla eri vaihtoehtoja oikeassa koossa. Tämän jälkeen nostureiden nostoarvoja vertailtiin keskenään. Mallinnetun aluesuunnitelman suurimpana etuna nähtiin sen havainnollisuus, josta oli etua esimerkiksi työmaahissin ja roskalavojen paikkojen valinnassa. (JongHoon ja Castillo 2015.)

Case-tutkimuksessa todetaan, että SketchUp on sopiva ohjelma aluesuunnitelman mallintamisessa seuraavista syistä:

- Helppokäyttöinen (vedä/työnnä-työkalun ansiosta)
- Olemassa olevasta julkisesta objektiikirjastosta löytyy paljon työmaan aluesuunnittelussa hyödynnettäviä objekteja.
- Yhteensopiva muiden tietomallinnussovellusten kanssa. Ohjelmaan voi tuoda lähtötietoja monessa eri formaatissa.
- Yhteensopivuus Google Earth –sovelluksen kanssa. Tämä mahdollistaa 2D-sateenliittikuvan tai 3D-maanpintamallin tuomisen SketchUp:iin. Malli siirtyy tätä kautta myös maailman koordinaatistossa halutulle sijainnille. (JongHoon ja Castillo 2015.)

### **Sillan asennukseen liittyvä 4D-logistiikkasuunnitelma SketchUp:lla**

Osana edellistä rakennustyömaan aluesuunnitelman mallinnusta, case-tutkimuksessa tehtiin myös toinen malli, joka liittyi kahden rakennuksen välille tulevan sillan asennukseen (kuva 8). Mallin avulla kokeiltiin myös 4D-animaation luontia SketchUp:lla. Animaatio mahdollisti sillan asennuksen ja kuljettamisen visualisoimisen. 4D-animaation avulla kaikki osapuolet pystyivät ymmärtämään, miten sillan asennus ja kuljetus tulee käytännössä tapahtumaan. Animaatio auttoi myös valitsemaan oikean reitin, jota pitkin siltaa kuljettanut rekka pääsi ajamaan asennuspaikalle ilman ongelmia. (JongHoon ja Castillo 2015.)



Kuva 8: Sillan asennuksesta SketchUp:illa mallinnettu logistiikkasuunnitelma (JongHoon ja Castillo 2015).

### Yhteenveto kirjallisuudessa esiintyneistä case-tutkimuksista

Taulukkoon 1 on koottu yhteenveto neljästä kirjallisuudessa esiintyneestä case-tutkimuksesta. Taulukossa 1 on esitetty case-tutkimuksissa käytetyt mallinnusohjelmat sekä niiden havaitut edut ja heikkoudet. Näiden tutkimusten perusteella SketchUp vaihtaa parhaalta ohjelmalta aluesuunnitelman mallintamiseen, jos pitäisi valita SketchUp:n, Tekla:n ja ArchiCAD:n väliltä. SketchUp:ssa pystytään hyödyntämään rakennemallia, jolloin myös sillä voidaan hyödyntää Teklan etuna havaittu toteutusta vastaava geometria.

	Mallinnus-ohjelma	Havaitut edut	Heikkoudet
<b>Asuntorakennuskohde Ankkahovi</b>	ArchiCAD	Visuaalisesti todennukainen, animaatio-työkalu.	Huono 4D-työkalu.
<b>Teollisuus-rakennusprojekti TVO</b>	Tekla	Toteutusta vastaava geometria, 4D-simulointityökalu.	Valmiiden objektien puuttuminen, heikko visuaalisuus, kameratyökalun puuttuminen, animaatiotyökalun puuttuminen.
<b>Talonrakennustyömaan aluesuunnitelma</b>	SketchUp	Helppokäyttöisyys, valmiit objektit, yhteensopivuus, Google Earth.	Toteutukseen liittyvät ongelmat pitää löytää mallista manuaalisesti.
<b>Sillan asennuksen logistiikkasuunnitelma</b>	SketchUp	Helppokäyttöisyys, valmiit objektit, yhteensopivuus, Google Earth, havainnollisuus, 4D-animaatio.	Toteutukseen liittyvät ongelmat pitää löytää mallista manuaalisesti.

Taulukko 1: Yhteenveto kirjallisuudessa esiintyneistä case-tutkimuksista

## 4.4 Tietomallipohjainen alue- ja logistiikkasuunnittelu yrityksissä

Tässä kappaleessa tutkitaan yritysten tietomallinnuskäytäntöjä keskittyen erityisesti tietomallipohjaisen alue- ja logistiikkasuunnittelun. Tutkittavia yrityksiä on yhteensä kahdeksan: Ryan Companies, Webcor Builders, Turner Construction, Trimble Solutions, Balfour Beatty Construction, China State Construction Engineering Corporation, Ramirent ja SRV Rakennus Oy.

Ryan Companiesista saadut tiedot ovat peräisin kirjallisuuslähteistä. Balfour Beatty Constructionin kohdalla lähteenä käytetään seminaariesitystä ja Ramirentia käsittelevässä kappaleessa lähteenä on käytetty kirjallisuuslähteitä sekä mallinnuskäytäntöihin liittyvästä kokouksesta kerättyä tietoa. Viiden muun yrityksen, eli Webcor Buildersin, Turner Constructionin, Trimble Solutionsin, China State Constructionin ja SRV Rakennus Oy:n kohdalla lähteenä käytetään haastatteluista saatua tietoa.

Haastattelut alkoivat kohdeyrityksen kalustokeskuksen päällikön haastattelulla. Tämän jälkeen oli vuorossa kansainväliset haastattelut, joissa haastateltiin kahta suuren amerikkalaisen rakennusurakoitsijan Webcor Buildersin ja Turner Constructionin VDC-päällikköä sekä yhtä amerikkalaisen ohjelmistoyrityksen Trimble Solutionsin VDC-palveluita tarjoavan yksikön johtajaa. Lisäksi yksi suuren kiinalaisen rakennusurakoitsijan China State Constructionin VDC-päällikkö vastasi haastattelukysymyksiin sähköpostitse. Kansainvälisten haastatteluiden jälkeen haastateltiin kohdeyrityksestä kolmea työntekijää, joilla on kokemusta aluesuunnittelusta ja tietomallinnuksen hyödyntämisestä työmailla.

Taulukkoon 2 on koottu kansainvälisiin haastatteluihin osallistuneiden henkilöiden listaus. Taulukossa 2 on esitetty haastateltavien nimi, rooli yrityksessä, yritys ja haastattelupäivämäärä.

### Kansainväliset haastattelut

Nimi	Rooli yrityksessä	Yritys	Haastattelupäivämäärä
Stan Zhao	VDC-päällikkö	China State Construction	26.1.2016
Peter Sosnowski	Rakennushankkeen valmistelusta vastaava VDC-päällikkö	Webcor Builders	28.1.2016
Viktor Bullain	Paikallinen VDC-päällikkö	Turner Construction	2.2.106
Jake Evinger	VDC palveluiden johtaja	Trimble Connect	11.2.106

**Taulukko 2:** Listaus kansainvälisiin haastatteluihin osallistuneista henkilöistä.

Taulukkoon 3 on koottu kohdeyrityksen sisäisiin haastatteluihin osallistuneiden henkilöiden listaus. Taulukossa on esitetty haastateltavien nimi, rooli yrityksessä, yritys ja haastattelupäivämäärä.

### Kohdeyrityksen sisäiset haastattelut

Nimi	Rooli yrityksessä	Yritys	Haastattelu-päivämäärä
Tapio Kaikkonen	Kalustokeskuksen päällikkö	SRV Kalusto Oy	22.1.2016
Matias Korpela	Projekti-insinööri	SRV Rakennus Oy	3.3.2016
Henri Kiiski	Tuotantoinsinööri	SRV Rakennus Oy	14.4.2016
Mikko Eskelinen	Vanhempi mestari	SRV Rakennus Oy	22.3.2016

Taulukko 3: Listaus kohdeyrityksen sisäisiin haastatteluihin osallistuneista henkilöistä.

#### 4.4.1 Ryan Companies

Ryan Companies on kansainvälinen yritys, jonka liiketoiminta-alueisiin kuuluu urakointi, kiinteistökehitys, suunnittelu ja kiinteistöjohtaminen. Yrityksessä hyödynnetään tietomalleja hankekehityksessä, luonnossuunnittelussa, renderoinnissa sekä työmaa-alueen suunnittelussa. Aluesuunnitelmat tehdään aina SketchUp:lla. Kuvassa 9 on Minneapolisissa sijaitsevan työmaan SketchUp:lla mallinnettu aluesuunnitelma. Tietomallipohjaisen aluesuunnitelman etuna nähdään eri työmaatoimintojen ja kaluston yhteensovitus työmaalla. Kolmiulotteinen malli parantaa kommunikointia työmaalla. (Reily 2015.)



Kuva 9: Ryan Companiesin SketchUp:lla mallinnettu aluesuunnitelma (Reily 2015).

Ryan Companies:lla on hyviä kokemuksia Synchro:n käytöstä tuotannon ohjauksessa. Ydinturbiinien asennusprojektissa saavutettiin Synchro PRO:n avulla säästöjä työvoimakustannuksissa, aikataulussa. Myös työturvallisuudessa päästiin hyvälle tasolle, sillä työmaalla ei tapahtunut yhtään läheltä piti tilannetta tai työtapaturmaa. (Dengenis 2016.)

#### 4.4.2 Webcor Builders

Webcor Builders on amerikkalainen, Californian suurin rakennusurakoitsija, joka käyttää tietomallinnusta laajasti rakennustuotannossaan. Peter Sosnowski toimii yrityksessä VDC-johtajana ja hänen vastuualueeseensa kuuluu ennen rakennusvaihetta tarvittavat



VDC-palvelut. Yritys on jakanut alue- ja logistiikkasuunnittelun neljään eri tarkkuus-tasoon. Tasot on nimetty seuraavasti: pronssi-, hopea-, kulta- ja platinataso. Pronssi-tason aluesuunnitelma koostuu kahdesta osasta, jotka ovat kaksiulotteinen logistiikka-suunnitelma sekä perinteinen kaksiulotteinen työmaa-alueen käytön suunnitelma. Logis-tiikkasuunnitelmaan on merkitty kaksi eri reittiä tuleville ja lähteville tavarantoimituk-sille. Aluesuunnittelu alkaa aina pronssitasolta ja sitä tasoa pidetään erityisen tärkeänä, koska suunnitelmien avulla voidaan kommunikoida viranomaisten kanssa. Jos työmaan takia joudutaan esimerkiksi sulkemaan teitä tai tekemään muita liikennejärjestelyitä, niin näiden suunnitelmien avulla sen voi esittää viranomaisille. Pronssitason tavoite on esittää logistiikan ja työmaajärjestelyiden pääperiaatteet ympäristöstä ja työmaasta. Suunnitteluprosessissa kuunnellaan lähtötietona aina asiakasta, koska näin vältetään siltä, ettei jouduta tekemään suunnitelmia moneen kertaan. Työmaajärjestelyt voi tehdä monella tapaa ja on huomattu, että asiakaslähtöisellä alue- ja logistiikkasuunnittelulla saavutetaan parhaimmat tulokset. (Sosnowski 2016.)

Aluesuunnittelun hopeataso on mallinnettu aluesuunnitelma jostain tietystä ajanhetkes-tä, jolloin mallin avulla pystytään havainnollistamaan käynnissä olevat rakennusvaiheet. Tällainen malli on hyvä apuväline kommunikoinnissa asiakkaan kanssa, koska mallin avulla pystytään näyttämään asiakkaalle, jos asiakkaan oletamuksissa työvaiheiden toteutusjärjestyksestä on jotain ristiriitoja. Kuvassa 10 on esimerkki mallinnetusta alue-suunnitelmasta, johon on merkitty työmaan läpi kulkeva vesijohto ja kaasulinja, ympä-röivien teiden nimet, työmaa-aitaus, rakennusvaihe, työmaatiet ja autonosturit. Webcor Builder:n VDC-yksikön käyttämä työaika kuvan 10 tasoisen mallin luomiseen on noin kolme työpäivää. (Sosnowski 2016.)

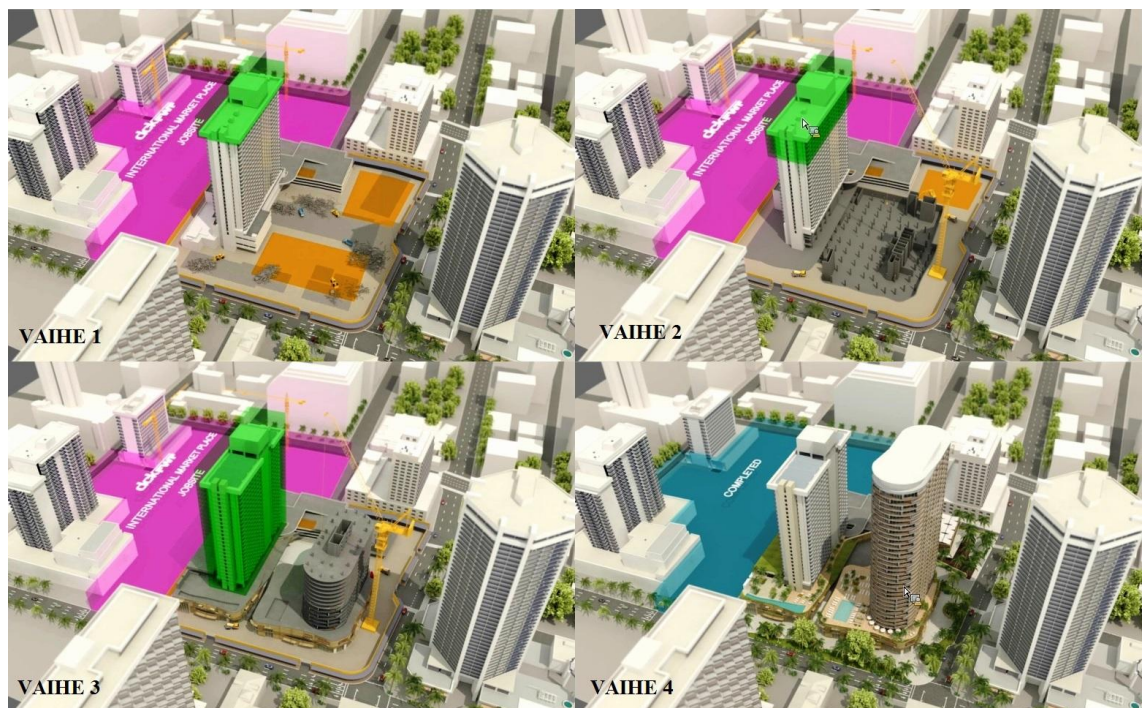


**Kuva 10: Revit:llä mallinnettu työmaan aluesuunnitelma (Sosnowski 2016).**

Webcor Builders pyrkii tietomallinnuksen käytössä aina vuorovaikutteiseen yhteistyö-hön suunnittelijoiden kanssa. Suunnittelijoiden luomia malleja käytetään aina mahdolli-suuksien mukaan tuotannonsuunnittelun lähtötietoina. Yhteistyön avulla on mahdollista saada jatkossa entistä parempia malleja suunnittelijoilta, kun pystytään näyttämään heil-le miten malleja hyödynnetään ja mitä suunnittelijoiden tekemiltä malleilta edellytetään. Hopeatason mallinnus tehdään yleensä Revit:llä, koska arkkitehtimalli on luotu sillä ja Revit:n objektiikirjasto sisältää kattavasti valmiita työmaatoimintaan liittyviä objekteja.

SketchUp:ia voidaan käyttää silloin, jos saadaan suunnittelijoilta SketchUp:lla tehty luonnos lähtötiedoksi tai jos kohteen toteutus halutaan animoida Synchro PRO:lla. (Sosnowski 2016.)

Kultatasolla työmaa ja sen ympäröivät rakennukset mallinnetaan tarkasti ja mallista pyritään saamaan mahdollisimman visuaalinen ja todenmukainen. Tämä tapahtuu renderoimalla. Renderointi tarkoittaa kuvan luomista mallista tietokoneohjelman avulla. Renderointi-ominaisuus on usein liitetty suoraan mallinnusohjelmaan, jolloin mallista saa yksinkertaisesti ulos fotorealistisia kuvia. Kultatasolla työmaasta ja sen ympäristöstä halutaan esittää eri rakennusvaiheita, joita voidaan käyttää kommunikoinnin apuvälineenä eri sidosryhmien välillä. Kuvassa 11 on esitetty renderoituja kuvia mallista, joiden avulla on haluttu havainnollistaa työmaan eri rakennusvaiheita. Työmaalla peruskorjattiin olemassa oleva hotellirakennus ja rakennettiin sen viereen uusi hotelli. Mallissa on esitetty myös viereinen työmaa, johon rakennettiin iso ostoskeskus. Vaiheessa 1 on esitetty kyseisen työmaan lähtötilanne sekä viereisen työmaan vaikutusalueet. Vaiheessa 2 halutaan näyttää, että peruskorjattavan hotellin työalue on laajentunut ylimpiin kerroksiin, uuden hotellin perustukset ovat valmiit ja työmaalle on pystytetty nosturi. Vaiheessa 2 halutaan myös havainnollistaa, että runko pystytetään kahdella työryhmällä, joista toinen keskittyy jäykistäviin kuiluihin, jotka etenevät muuta runkoa 3-4 kerrosta edellä ja toinen työryhmä asentaa muut osat rungosta. Kuilut toimivat tukena ja jäykisteenä holvien rakentamiselle jo koko runkovaiheen ajan. Vaiheessa 3 halutaan näyttää, että peruskorjattava hotelli on otettu kokonaan työn alle ja uuden hotellin runko on osittain asennettu sekä julkisivun asennus on aloitettu. Vaiheessa 4 näytetään lopputilanne työmaan päättymisen jälkeen. Monivaiheinen esitystapa on siitä hyvä, että sen avulla pystytään havaitsemaan mahdolliset ristiriidat aikataulussa jo ennen rakentamista. Kultatason monivaiheisen mallinnuksen luominen kestää VDC-yksiköllä noin kymmenen työpäivää. (Sosnowski 2016.)



Kuva 11: Neljän eri rakennusvaiheen aluesuunnitelmat (Sosnowski 2016).

Platinatasolla mallin avulla voidaan tehdä korkealaatuisia animaatioita ja 3D-tulosteita. Kuvassa 12 on tulostettu rakennettava hotelli (kuvan keskellä) ja sen ympäröivät raken-



nukset kiinteinä kolmiulotteisina kappalein. 3D-tulosteet on aseteltu ison Google Earth:sta tulostetun kuvakaappauksen päälle. Kuvan 12 mallia käytettiin logistiikan suunnittelussa asiakkaan kanssa. Rakennusalue on haastavassa paikassa, koska se sijoittuu asuinalueen keskelle. Näiden mallien tulostus maksoi vuonna 2014 noin \$3000. (Sosnowski 2016.)



**Kuva 12: 3D-tulostetut mallit jotka on sijoitettu Google Earth -tulosteen päälle (Sosnowski 2016).**

3D-tulosteita on hyödynnetty myös rakennuksen sisälogistiikan suunnittelussa. Kuvassa 13 näkyvässä kohteessa päädyttiin hyödyntämään kolmiulotteisia tulosteita kohteen haastavuuden takia. Rakennuksen omistaja halusi, että peruskorjattava rakennus luovutetaan kahdessa vaiheessa. Rakennuksen pituussuunnassa on lisäksi koko rakennuksen läpi kulkeva kapea käytävä, joka aiheutti logistisia haasteita. Kuvan 13 tulosteet ovat onttoja. Vasemmalla on rakennuksen ulkovaippa, keskellä leikkaus ylimmästä kerroksesta ja oikealla on tuloste rakennuksen rungosta. (Sosnowski 2016.)



**Kuva 13: 3D-tuloste jota hyödynnettiin sisälogistiikan suunnittelussa (Sosnowski 2016).**

Platinatasolla mallista voidaan tehdä korkealaatuisia animaatiovideoita, joiden avulla halutaan simuloida logistiikkaa. Kuvassa 14 on kuvakaappaus animaatiovideosta, jolla haluttiin simuloida kampusalueen kevyenliikenteen yhteensovitusta. Punainen nuoli kuvaa pyöräilijöiden reittejä ja sininen nuoli kuvaa kävelyreittejä. Samanlaisia animaatioita voidaan tehdä työmaan eri rakennusvaiheista. Tämän tasoisten animaatioiden te-

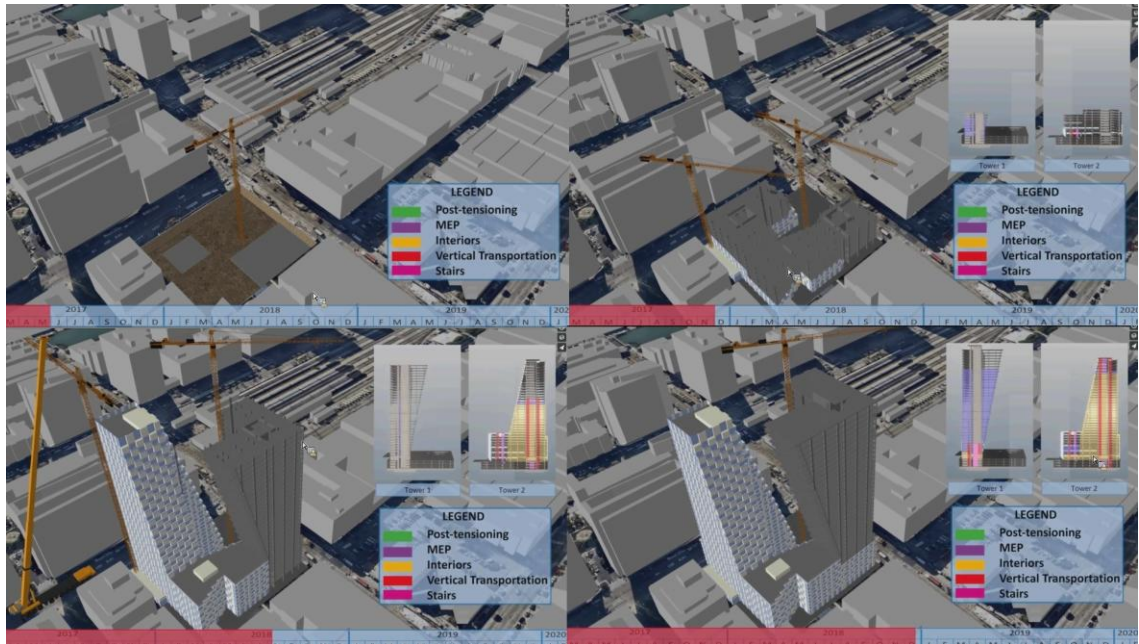


kemiseen menee Webcor Builders:n VDC-yksiköltä noin kymmenen työpäivää. (Sosnowski 2016.)



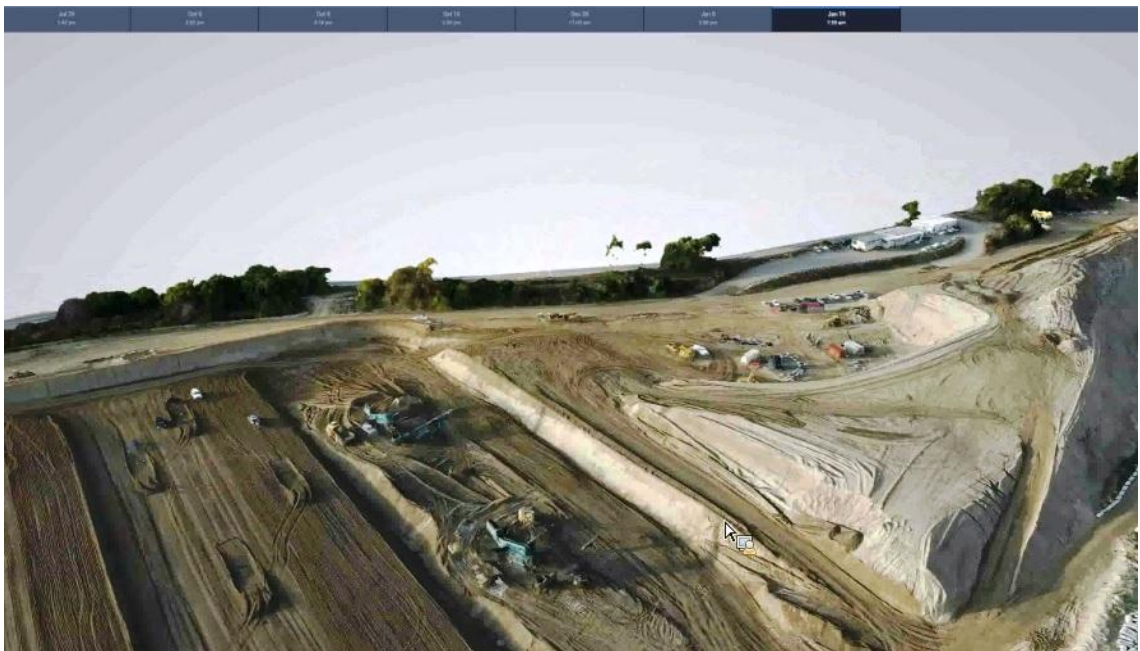
**Kuva 14:** Animaatio, jossa simuloidaan kampusalueen kevyttä liikennettä (Sosnowski 2016).

Webcor Builders:ssa tehdään kaikkien kohteiden aikataulut Primavera Scheduling (P6) -ohjelmistolla. Amerikassa se on rakennusalaan oletusohjelma aikataulujen laadinnassa. P6-aikataulu ja Revit:llä luotu malli viedään Webcor Builders:n jokaisessa projektissa myös Synchro PRO:hon, jonka avulla voidaan simuloida kohteen toteutus. Tätä pidetään niin sanottuna törmäystarkasteluna aikataululle ja mallille. Aikataulun ristiriidat voidaan huomata jo ennen rakentamista tällä havainnollisella esitystavalla. Kuvassa 15 on kuvakaappauksia Synchro PRO:lla tehdystä animaatiosta, neljästä eri rakennusvaiheesta. Animaation alareunassa näkyy aika ja oikeassa reunassa näkyy kaksi leikkausta rakennuksesta, joista voi seurata töiden etenemistä tiettyjen värikoodien avulla. Animaatio havainnollistaa kohteen logistiikkaa, kun malliin on laitettu myös nosturit ja rakennushissit. Kuvan 15 vasemmassa alareunassa on havainnollistettu myös miten toisen torninosturin purku toteutetaan. (Sosnowski 2016.)



Kuva 15: Neljä kuvakaappausta Synchro Pro:lla tehdystä 4D-animaatiosta (Sosnowski 2016).

Uutena teknologiana Webcor Builders on ottanut käyttöönsä palvelun, jossa pienoistiedustelulennokki kerää päivittäin työmaasta ilmakuvia. Palvelun tarjoaa Kespary ja palvelu on suunnattu kaivoksille ja rakennustyömaille. Automatisoidun tiedustelulennon jälkeen ilmakuvat siirtyvät pilvipalveluun, jonne käyttäjä pääsee kirjautumaan tietokoneella tai tabletilla. Internet-sovelluksessa työmaasta pystyy muodostamaan hyvin tarkan 3D mallin (kuva 16). Mallista saa suoraa esimerkiksi läjitetyn maakan tilavuuden ja siitä voi määrittää myös, kuinka monta kuutiota maata jollekin tietylle varastoalueelle mahtuu läjittämään. Web sovellukseen pääsevät kirjautumaan projektin eri sidosryhmät, joten työmaatilanteen seuranta on helppoa sitä kautta. (Sosnowski 2016.)



Kuva 16: Ilmakuvista luotu 3D malli (Sosnowski 2016).



#### 4.4.3 Turner Construction

Turner Construction on yksi Yhdysvaltojen suurimmista rakennusurakoitsijoista. Viktor Bullain toimii yrityksessä paikallisena VDC-johtajana Kalifornian osavaltiossa. Turner Construction hyödyntää laajasti tietomalleja rakennustuotannossaan. Mallinnettujen alue- ja logistiikkasuunnitelmien suurin hyöty on ollut viranomaisyhteistyön parantuminen. Yleisesti alue- ja logistiikkasuunnitelmien viranomaishyväksyntää on joutunut odottamaan aikaisemmin useamman kuukauden, mutta mallinnettuja suunnitelmia esittämällä hyväksyntäprosessi on nopeutunut huomattavasti. (Bullain 2016.)

Turner Construction toimi pääurakoitsijana Great Wolf Lodge –projektissa, joka käsitti 10,3 hehtaarin vesipuiston. Toteutusaikataulu oli tiukka ja viranomaisten hyväksymisprosessiin ei haluttu tuhlaa aikaa. Kohteen aluesuunnitelma mallinnettiin ja sen jälkeen pyydettiin kaikki viranomaistahot ja merkittävimmät aliurakoitsijat koolle samaan aikaan. Projektin toteutus käytiin mallin avulla läpi ja viranomaisilta saatiin tarvittavat hyväksynnit kohteelle kahden viikon kuluessa. Tällä toimintatavalla saavutettiin normaaliin prosessiin nähden 2-3 kuukauden ajallinen säästö. (Bullain 2016.)

NYC BOC on vuodesta 2012 edellyttänyt urakoitsijoita toimittamaan tietomallipohjaiset alue- ja turvallisuussuunnitelmat isoista projekteista. Turner Construction oli yksi ensimmäisistä yrityksistä, joka sai osastolta hyväksynnän mallinnetuille alue- ja turvallisuussuunnitelmille New Yorkiin rakennetussa yliopistohankkeessa. Kuvassa 15 on Revit:illä luotu malli, jolla on havainnollistettu kohteen logistiset ratkaisut. Kohteessa käytettiin myös Solibri Model Checker (SMC) -ohjelmistoa apuna putoamissuojauksen suunnittelussa. SMC:hen määriteltiin tietyt säännöt joiden avulla SMC esitti paikat jonne putoamissuojaus tarvitsee suunnitella. Kuvassa 17 on mallinnettu keltaiset kaiteet holville havainnollistamaan putoamissuojausta. (Bullain 2016.)



Kuva 17: Revit:illä mallinnettu työmaan aluesuunnitelma.

Turner Construction käyttää alue- ja logistiikkasuunnittelussa Revit:iä tai SketchUp:ia. Valinta näiden ohjelmien välillä tehdään projektin koon ja sen mukaan, kuinka paljon projektissa on viranomaisyhteistyötä. Revit:iä käytetään silloin, kun projekti on iso,

viranomaisyhteistyötä on paljon ja mallista tarvitsee saada ulos paljon kaksiulotteisia tulosteita. Muulloin käytetään SketchUp:ia. Yrityksen eri yksiköillä on omat objektikirjastot työmaan aluesuunnittelussa hyödynnettävistä objekteista. Objektikirjastot sisältävät Revit:ssä ja SketchUp:ssa hyödynnettäviä objekteja. (Bullain 2016.)

Vuonna 2014 Turner Construction saavutti yhtenäisen betonoinnin maailmanennätyksen. 73 kerroksisen rakennuksen maanvaraisen perustuslaatan betonointi kesti 18,5 tuntia. Betonia pumpattiin 12 eri pumpulla ja betonia kului 16 tuhatta kuutiota. Betonoinnin valmistelu aloitettiin jo vuotta aikaisemmin ja suunnittelussa hyödynnettiin tietomallinnusta. Työmaa-alue mallinnettiin ja tätä mallia käytettiin apuvälineenä kommunikoinnissa viranomaisten kanssa. 200 betonautoa oli myös varustettu GPS-sensoreilla, jotta pystyttiin seuraamaan niiden sijaintia. GPS-sensoreilla varustetut betonauto eivät kuitenkaan olleet yhteydessä tietomalliin. (Bullain 2016.)

#### **4.4.4 Trimble Solutions**

Trimble Solutions on ohjelmistoyritys, jonka tunnetuimpia arkkitehtuuri- ja rakennusalalle suunnattuja ohjelmistoja ovat: SketchUp, Tekla, Vico Office ja Gehry Technologies' GTeam. Trimblen noin 40 hengen VDC Services at Trimble -yksikkö tarjoaa mallinnuspalveluita asiakkaille. Jake Evinger toimii yksikön johtajana. (Evinger 2016.)

Evingerin (2016) mukaan työmaan alue- ja logistiikkasuunnittelu on lähinnä eri objektien sijoittelua malliin. Tämän takia ArchiCAD, Revit ja SketchUp ovat samantasoisia ohjelmia aluesuunnittelussa, jos tietomallista ei tarvitse saada määrätietoa ulos. SketchUp:sta ei saa määrätietoja ulos, mutta se on näistä kolmesta hyvä vaihtoehto sen helpon käytettävyyden takia. (Evinger 2016.)

Trimble Solutions:lla ei ole käytössä laajaa yhteistä työmaan alue- ja logistiikkasuunnitteluun luotua objektikirjastoa. Objektikirjastoa päivitetään koko ajan, jos joudutaan mallintamaan uusia asiakkaiden toivomia objekteja. Käytössä oleva objektikirjasto on koottu yhdistelemällä SketchUp:n- ja Revit:n objektikirjastoista löytyviä objekteja. Osa objekteista on jouduttu mallintamaan myös itse. Trimble Solutions:n oma objektikirjasto sisältää aitaelementtejä, työmaahissejä, nostureita, työmaavalaisimia, autoja, maanrakennuskoneita, puita, jätelavoja ja työmaatiloja. (Evinger 2016.)

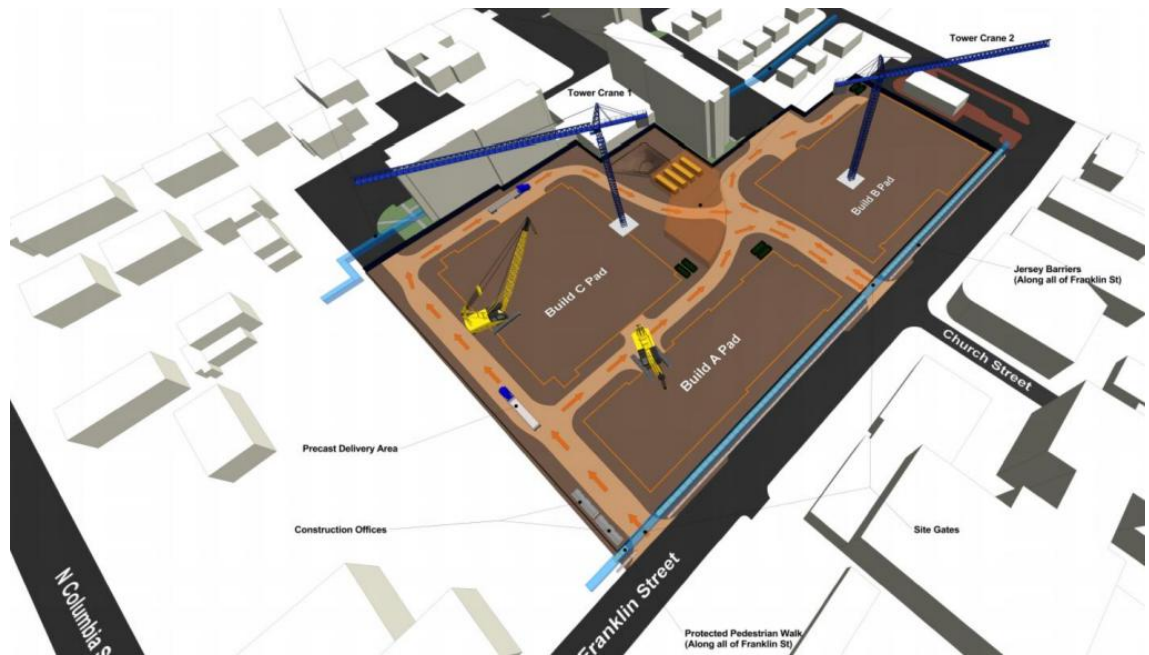
Evinger (2016) näkee aluesuunnitelman 3D-tulosteen hyvänä kommunikointityökaluna, mutta ongelmana on, että tuloste on sidoksissa vain tiettyyn ajanhetkeen. Työmaan alue- ja logistiikkajärjestelyt muuttuvat päivittäin ja tietomallin etuna on helppo päivittää viis ja sen avulla voi kätevästi havainnollistaa eri rakennusvaiheet.

#### **4.4.5 Balfour Beatty Construction**

Balfour Beatty Construction on suuri rakennusurakoitsija, joka toimii yli 80 maassa ja jolla on yli 50 000 työntekijää. Yrityksen VDC-yksikössä työskentelevien Jason Chapelin ja Ryan Lawrencen tavoitteena on auttaa työmaita valitsemaan parhaat toimintatavat tietomallien hyödyntämisessä. (Chappel ja Lawrence 2015.)

Kuvan 18 kaltainen aluesuunnitelma voidaan mallintaa päivässä. Aluesuunnitelmassa on esitetty tietty työmaatilanne ja se havainnollistaa työmaan logistisia järjestelyitä. Ongelma kuitenkin on, että rakentamisen dynaamisen luonteen takia aluesuunnitelmaa tulee päivittää usein, että se pysyy ajantasaisena. Tavoitteena on, että aluesuunnitelma on elävä dokumentti, jota pidetään jatkuvasti ajan tasalla. Tämä edellyttää, että työmaal-

la on riittävästi osaamista ja resursseja aluesuunnitelman mallintamiseen ja mallin päivittämiseen. (Chappel ja Lawrence 2015.)



**Kuva 18: Työmaan aluesuunnitelma (Chappel ja Lawrence, 2015).**

Aluesuunnitelman mallintamisen lähtökohta ei saa olla näyttävä ulkoasu. Lähtökohtana tulee olla se, että mallin avulla projektin eri sidosryhmät voivat kommunikoida mahdollisimman tehokkaasti keskenään. Aluesuunnitelma on kommunikoinnin apuväline. (Chappel ja Lawrence 2015.)

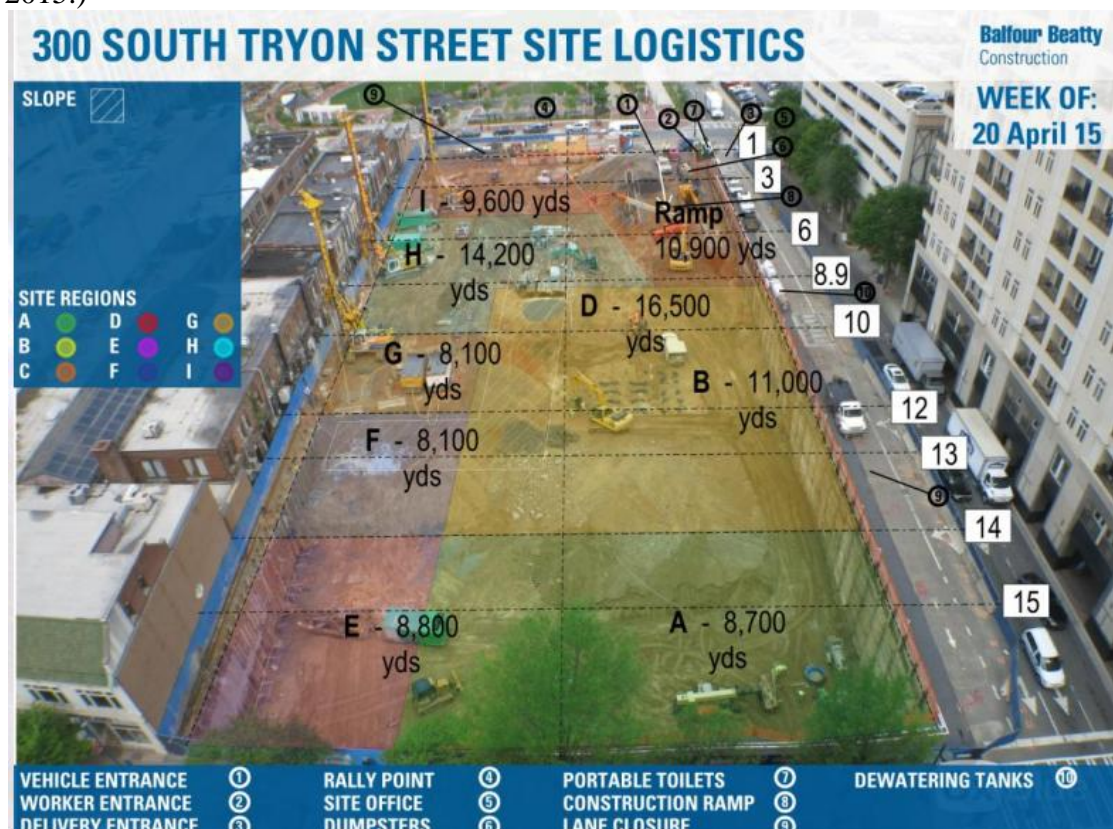
Yksi sovellus, jota on kokeiltu työmaan aluesuunnitelman ylläpitämisen helpottamiseksi, on magneettitaulu, johon työmaan alussa mallinnettu aluesuunnitelma on tulostettu (kuva 19). Magneettitaulu sijoitetaan työmaalla kaikkien nähtävillä, jolloin tilaaja, pää toteuttaja ja aliurakoitsijat voivat päivittää työmaatilanteen helposti symboloituja magneetteja järjestelemällä. Aliurakoitsijat voivat näyttää muille paikan, jossa he tulevat työskentelemään seuraavaksi. Tällainen sovellus sopii hyvin pienen budjetin työmaille. (Chappel ja Lawrence 2015.)





Kuva 19: Magneettitaululle tulostettu aluesuunnitelma (Chappel ja Lawrence 2015).

Kuvassa 20 on nähtävissä sovellus, jota kokeiltiin suuremmissa hankkeissa työmaan logistiikan havainnollistamisessa. Sovelluksessa työmaata jatkuvasti kuvaavan webkamerakuvan päälle on luotu näkymä, jossa työmaa-alue on jaettu eri osiin. Eri alueet on merkitty kirjaintunnuksilla sekä väreillä. Numerot symboloivat työmaan toimintoja. Esimerkiksi numeron yksi kohdalla on ajoportti ja numeron viisi kohdalla on työmaa-toimisto. Näkymän päälle voidaan liittää myös tietomalli. Näkymää voidaan päivittää työmaalla reaaliaikaisesti 55 tuumaisen kosketusnäytön avulla. (Chappel ja Lawrence 2015.)



Kuva 20: Webkamerakuvan päälle luotu aluesuunnitelma (Chappel ja Lawrence, 2015).

#### 4.4.6 China State Construction Engineering Corporation

China State Construction Engineering Corporation on Kiinan suurin rakennusurakoitsija. Yrityksessä tietomallinnuspäällikkönä työskentelevä Stan Zhao kertoo, että projekteissa hyödynnetään tietomallinnusta kohteen alue- ja logistiikkasuunnittelussa, jos projektissa on mukana henkilöitä, jotka osaavat käyttää mallinnusohjelmia. Yleisesti jonkinlainen aluesuunnitelma tehdään jokaisessa projektissa, koska se on osa projektisuunnitelmaa. Kolmiulotteisessa aluesuunnittelussa suunnitteluprosessi nähdään samanlaisena kuin kaksiulotteisessa suunnittelussa. Ero kolmiulotteisen ja kaksiulotteisen aluesuunnitelmien välillä tulee lopputuotteen visuaalisuudesta ja siitä, että tietomalliin voi liittää aika- ja kustannusriippuvuuden. Yrityksellä on käytössään 2D- ja 3D-objektikirjastot, mutta 3D-objektikirjasto ei ole vielä riittävän kattava, mikä voi hidastaa mallintamista. (Zhao 2016.)

Zhao (2016) kertoo, että teräs- ja julkisivu-urakoitsijat käyttävät Kiinassa yleisesti RFID-tunnisteita logistiikan tehostamisessa. Monissa projekteissa kohteen muodot ovat vaativia ja jokainen osa voi olla yksilöllinen. Jokaiseen rakennusosaan liimataan tehtaalla oma RFID-tunniste, jolloin rakennusosan jäljittäminen ja asennuspaikan selvittäminen helpottuvat. RFID-tunnisteet eivät ole vielä yhteydessä tietomalliin, mutta uusia sovelluksia pyritään jatkuvasti löytämään. (Zhao 2016.)

#### 4.4.7 Ramirent

Ramirentin visiona on kehittää kalustovuokrauksen tehokkuutta ja asiakaspalvelua. Vision toteuttamisen tueksi Ramirent on alkanut hyödyntämään tietomallinnusta. Ramirentin tietomallinnuksesta vastaavan projektinjohtajan Michael Staffaksen mukaan tietomallin ja vuokrakaluston yhdistelmällä saadaan selvää hyötyä niin Ramirentille kuin asiakkaillekin. Kuvassa 21 näkyy Ramirentin tekemä työmaan aluesuunnitelma, jossa on mallinnettu myös vuokrakalustoa kuten torninosturit, työmaa-aita, sekä parakkikylä. Hyötynä tässä on se, että yhdistämällä työmaakalusto tietomalliin, tulee työmaakalustosta kiinteämpi osa koko rakennusprojektia. Kohteet suunnitellaan nykyään mallintamalla, joten kalustosuunnittelu voi olla mukana jo aikaisemmassa vaiheessa projektia ja näin voidaan tehdä parempia valintoja käytettävän työmaakaluston valinnassa. (Janzon 2015.)



Kuva 21: Mallinnettu työmaan aluesuunnitelma (Janzon 2015).

Oikea määrä materiaaleja ja välineitä tulee olla työmaalla oikeaan aikaan, jotta rakennustuotanto on mahdollisimman tehokasta. Tähän tarkoitukseen tietomalli on hyvä apu-

väline. Lisäksi työmaalla voidaan parantaa työturvallisuutta simuloimalla turvallisuuskierroksia ja suunnittelemalla työturvallisuutta parantavia ratkaisuita jo ennen toteutusta. Putoamissuojauksen mallinnus on tästä hyvä esimerkki. (Janzon 2015.)

Ramirent haluaa olla jatkossa rakennusprojekteissa mukana jo mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jolloin yritys voi hyödyntää omaa osaamistaan tuotannon ja kaluston suunnittelussa. Tietomallinnus on hyvä työkalu esimerkiksi teline-, sääsuojaus- ja nosturisuunnittelussa. Ramirentilla pääasiallinen tavoite tietomallintamisessa ei ole tehdä yksityiskohtaisia ja näyttäviä malleja, vaan malli tehdään aina projektin- ja suunnitteluvaiheen edellyttämällä tarkkuudella. Tästä esimerkkinä kuvassa 22 näkyvä malli, joka on tehty Tukholman keskustassa sijaitsevasta kohteesta, jossa Ramirent on tehnyt teline-, sääsuojaus- ja putoamissuojauksuunnittelua. Malli on luotu ensimmäisen asiakastapaamisen jälkeen. Julkisivutelineet on mallinnettu vain tilavarauksena, mutta ensimmäisessä toteutussuunnitteluvaiheessa se nähtiin riittävänä tarkkuustasona, koska mallista saa neliöinä ja kuutioina tarkan määrätiedon. Mallista saadun määrätiedon avulla telineurakasta voitiin jättää tarjous. Putoamissuojaus on mallinnettu yksityiskohtaisesti, koska tarjoukseen tarvittiin määrätieto. Mallintamalla putoamissuojaus pystyttiin visuaalisella työkalulla sijoittamaan kaide-elementit riittävän etäälle holvin reunasta, jolloin seinäelementit voitiin asentaa ennen kaiteiden poistoa. Ramirentilla on huomattu, että monet asiakkaat sijoittavat kaide-elementit kiireessä ilman suunnittelua niin, että ne pitää purkaa ennen seinäelementtien asennusta. IFC-muodossa olevan putoamissuojauksuunnitelman kaide-elementteihin on viety myös kerrostieto, jonka avulla mallista saadaan helposti tulostettua kerroskohtaisia kaide-elementtien asennusohjeita. (Vikmyr 2016.)

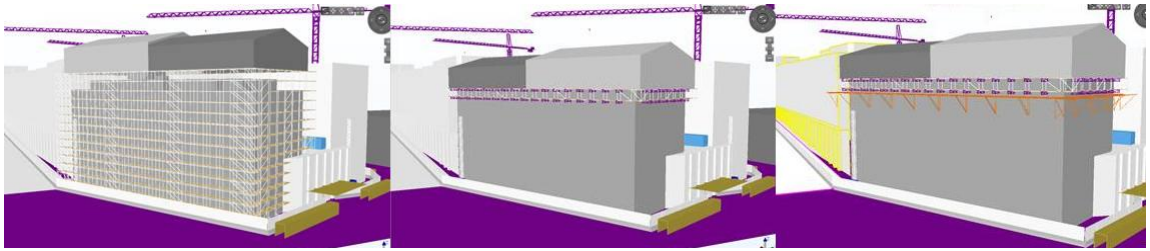


Kuva 22: Tukholmassa sijaitseva sairaalahanke Södersjukhuset (Vikmyr 2016).

Urban Escape –projekti sijoittuu Tukholman ydinkeskustaan. Ramirent pääsee hankkeessa hyödyntämään suunnitteluosaamistaan teline- ja sääsuojasuunnittelussa. Kohde on iso ja se koostuu viidestä rakennuksesta ja kahdesta korttelista. Rakennuksia rajaavat vilkkaat kevyenliikenteen väylät. Vaativissa hankkeissa Ramirentin suunnittelutiimi pääsee parhaiten hyödyntämään osaamistaan. Kuvassa 23 on mallinnettu ensimmäisenä



remontoitavan rakennuksen teline- ja sääsuojasennusten vaiheistus. Näiden Revit:llä tehtyjen mallien avulla on helppoa keskustella tilaajan kanssa.



**Kuva 23: Urban Escape –projektin teline- ja sääsuojasuunnitelman vaiheistus (Vikmyr 2016).**

Ramirent on mallintanut myös Urban Escape –projektin aluesuunnitelman. Kuvassa 24 on työmaan aluesuunnitelma, jossa on esitetty sosiaalililat, nosturit sekä työmaa-aitaus. Aluesuunnitelma on mallinnettu Revit:llä. (Vikmyr 2016.)



**Kuva 24: Urban Escape –projektin aluesuunnitelma (Vikmyr 2016).**

Ramirentilla mallinnetaan pääosin Revit:llä ja AutoCAD:lla. Revit:n etuna SketchUp:iin verrattuna nähdään se, että mallinnuskomponentteihin voidaan liittää hyödyllistä attribuuttitietoa. Revit on muutenkin monipuolisempi kuin SketchUp ja tämän takia Ramirentilla ei käytetä ollenkaan SketchUp:ia. Ramirentille määrätietojen saanti mallista on ehdottoman tärkeää. Jos malliin halutaan lisätä aikariippuvuus, niin Vikmyrin (2016) mukaan se on tällä hetkellä järkevintä tehdä joko Synchro PRO:lla tai Vico Office:lla. (Vikmyr 2016.)

Ramirentilla on käytössä oma objekti kirjasto ja sen jakamista asiakkaille on mietitty, mutta haasteena nähdään se, että eri asiakkailla on erilainen tarve ja eri suunnitteluvaiheissa tarvitaan yksityiskohtaisuudeltaan erilaisia objekteja. Objektien julkaisun jälkeen Ramirent olisi myös vastuussa niiden laadusta. Lisäksi Ramirent haluaa itse olla työmaakaluston suunnitteluprosessissa mukana aina suunnittelusta asennukseen. (Vikmyr 2016.)

Suomessa Ramirentin suunnitteluosastolla pidetään yleisenä ongelmana sitä, että suunnittelijoille ei anneta kohteiden tietomalleja ja DWG-muodossa olevia suunnitelmia lähtötiedoksi. Teline- ja sääsuojasuunnittelu joudutaan usein tekemään mittatikun kanssa PDF-muodossa olevien suunnitelmien pohjalta. Tämä aiheuttaa suunnittelijoille turhaa työtä ja suunnittelun taso kärsii. (Dakakny 2016).

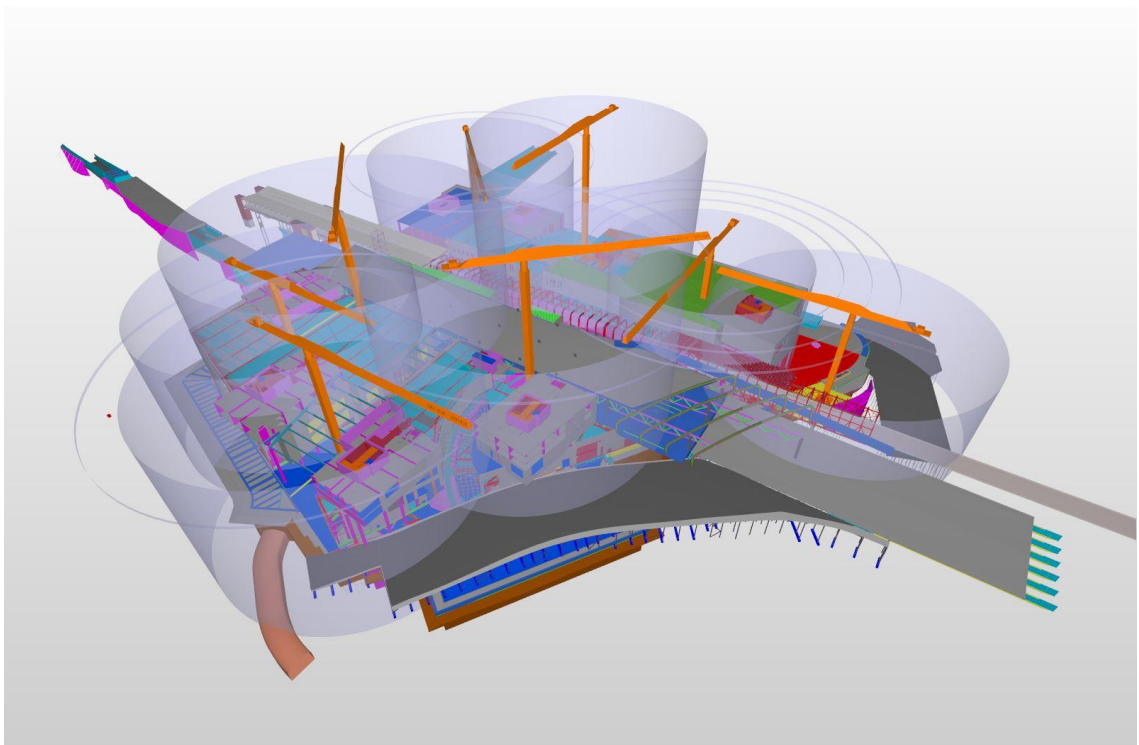
#### 4.4.8 SRV Rakennus Oy

SRV:llä on kokeiltu tietomallipohjaista aluesuunnittelua useilla työmailla, mutta aluesuunnitelmien mallinnus ei ole kuitenkaan vielä vakiintunut toimintatapa. Rakennustuotannossa tietomallien hyödyntämistä ja myös aluesuunnitelmien mallinnusta on määrätietoisesti edistetty jo pitkään.

Uusille teknologioille löytyy aina vastarintaa, niin kauan kuin uusien työkalun hyödyt ymmärretään. Tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa joutuu miettimään tila- ja aluevaraukset tarkemmin, kuin kaksiulotteisessa suunnittelussa. Hyvä ominaisuus on myös se, että maanpinta voidaan esittää oikeassa korossa. Mallin etuna on havainnollisuus, koska sitä kautta työmaan mahdolliset ongelmakohdat tulevat helpommin esille. Työmaalla pitäisi olla käytössä vain yksi dynaaminen tuotantomalli, eli kaikki tuotantoon liittyvät suunnitelmat, kuten nosturisuunnitelma, putoamissuojaussuunnitelma ja aluesuunnitelma pitäisi olla viety samaan malliin. Työmaakaluston suunnittelun, tilauksen ja hallinnan kannalta olisi hyödyllistä, että mallista saisi ulos myös määrätiedon. (Kaikkonen 2016.)

##### **Kalasataman keskus**

Kalasataman keskus on käynnissä oleva miljardihanke. Kalasataman keskuksen työmaalla oli kolmen hehtaarin kaivanto jonne torninosturit piti sijoittaa siten, että ne sijaitsevat tulevan rakennuksen rungon sisällä. Työmaalla tehtiin nosturisuunnitelma mallintamalla nosturit yksinkertaistettuina, mutta oikean kokoisina objekteina. Näin pystyttiin tutkimaan, miten nostureiden rungot sijoittuvat rakennuksen runkoon ja talotekniikkaan nähden (kuva 25). Torninostureille on mallinnettu myös 10 tonnin nostosäteet, joiden avulla nostureiden nostokapasiteetti pystytään havainnollistamaan. (Korpela 2016).



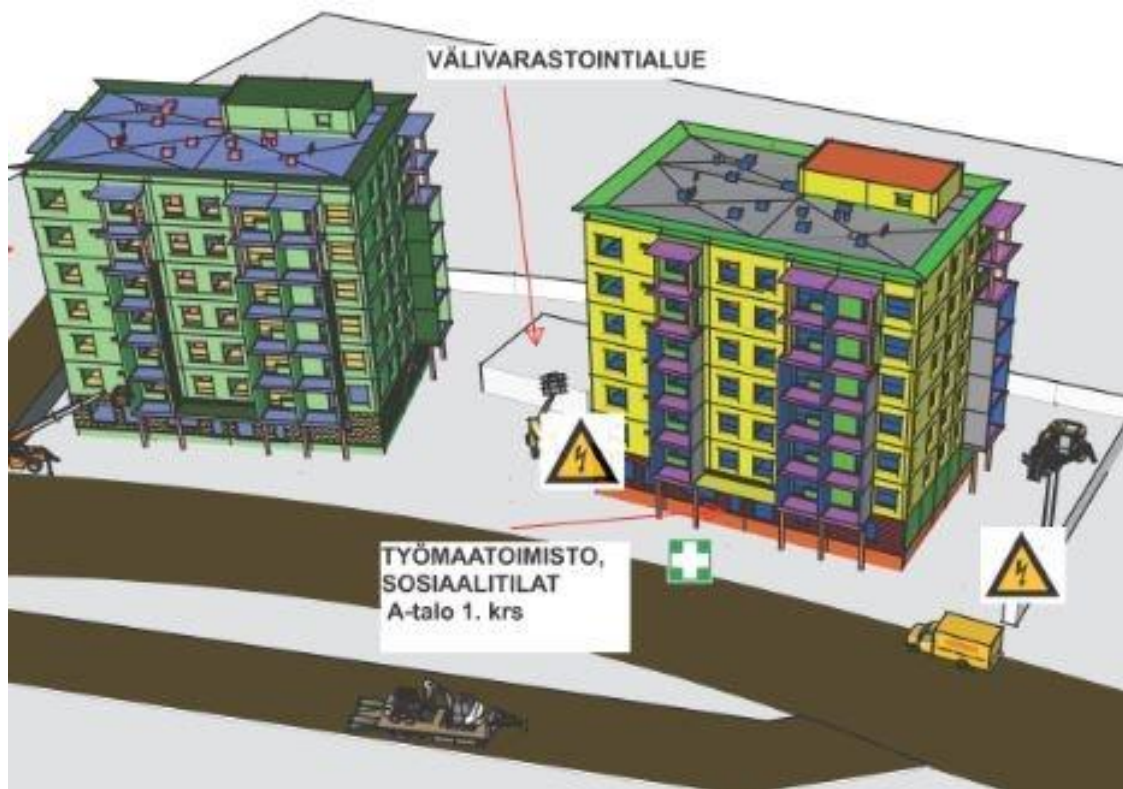
**Kuva 25: Kalasataman keskuksen nosturisuunnitelma (Korpela 2016).**

Kalasataman keskuksessa aluesuunnitelma on tehty kaksiulotteisena AutoCAD:lla ja sitä päivitetään kerran kuukaudessa tai tarvittaessa. Työmaalla on mietitty aluesuunni-

telman mallintamista, mutta toistaiseksi ongelmana on ollut mallintamisen vaatiman työajan löytäminen. Työmaalla on mallinnuksen avulla kuitenkin havainnollistettu, miten kauppakeskuksen päälle rakennettavien tornitalojen rakennusvaihe tulee vaikuttamaan toiminnassa olevan kauppakeskuksen toimintaan. Yksinkertaistetussa mallissa on esitetty vaadittavan työmaa-alueen rajausta sekä tornitalon ympärille asennettava puutoamissuojaverkko. Yksinkertaistettu geometria sopii tietomallipohjaiseen aluesuunnitteluun hyvin, koska silloin mallista tulee kevyempi, nopeampi tehdä ja helpommin päivitettävä. Aluesuunnitelman tarkoitus on olla kommunikoinnin apuväline, joten sen visuaaliseen ulkoasuun ei kannata käyttää liikaa aikaa. (Korpela 2016.)

### Asuntokohteet

Kohdeyrityksessä on päätetty, että kaikissa alkavissa asuntokohteissa aluesuunnitelmat tehdään mallintamalla. Kuvassa 26 on esitetty yksi asuntokohteen mallinnettu aluesuunnitelma. Aluesuunnitelman mallintamisessa on hyödynnetty kohteen kevennettyä rakennemallia. Kuvassa 26 esiintyvän asuntokohteen aluesuunnitelmassa on esitetty rakennukset, työmaatiet, sähköpääkeskukset, henkilönostimet, työmaatilat, työmaaitaus sekä välivarastointialue. Aluesuunnitelman mallinnus tehtiin SketchUp:lla. (Kiiski 2016.)



Kuva 26: Asuntokohteen SketchUp:lla mallinnettu aluesuunnitelma (Kiiski 2016).

Kuvassa 27 näkyvän asuntokohteen aluesuunnitelma on mallinnettu myös SketchUp:lla. Aluesuunnitelma on mallinnettu Google Earth –kuvakaappauksen päälle. Tämän tasoisin aluesuunnitelman mallintaminen on sujuvaa ja sen päivittäminen onnistuu nopeasti. Kuvassa 27 esitetyssä revisiossa on havainnollistettu A-talon rungon asennus näyttämällä talon rungosta vain puolet. Kohteen mallinnettu aluesuunnitelma tulostettiin A0-kokoon paperille ja sen avulla esiteltiin työmaa-alueen järjestelyt ja erityispiirteet uusille työntekijöille työmaaperehdytyksen yhteydessä. (Kiiski 2016.)





Kuva 27: Asuntokohteen perehdytyksessä käytetty ja SketchUp:lla mallinnettu aluesuunnitelma (Kiiski 2016).

### Uusi Lastensairaala 2017

Työmaan aluesuunnitelma on mallinnettu SketchUp:lla. Tarve mallinnetulle aluesuunnitelmalle lähti siitä, että alueella on paljon muita toimijoita, joille piti tehdä erilaisia tiedotteita. Tähän tarkoitukseen mallinnettu aluesuunnitelma on hyvä työkalu, koska sen avulla pystyy havainnollistamaan työmaan ja sen ympäristön järjestelyt paremmin kuin kaksiulotteisessa aluesuunnitelmassa. (Eskelinen 2016.)

Aluesuunnitelman mallinnuksen ensimmäisessä vaiheessa arkkitehdin tekemä alueen sijoittelupiirros tuotiin SketchUp:iin. Sijoittelupiirroksen avulla tehtiin massamallit ympäröivistä rakennuksista, arvioiden rakennusten korkeus. Maanpinta mallinnettiin korkeuskäyrien avulla. Korkeuseroja korostettiin, jotta ne näkyisivät selvemmin mallissa. Toinen vaihe aluesuunnitelman mallintamisessa oli kohteen rakennemallin tuonti SketchUp:iin. Mallia karsimalla siitä saatiin oleellisesti kevyempi ja toimivampi. Rakennemalli on ryhmitelty rakennusosien, kerrosten ja lohkojen mukaan, niin että siitä saa helposti esiin halutun näkymän. Tämä on rakennesuunnittelijan tehtävä, ja vaatimus löytyy YTV 2012:sta. (Eskelinen 2016.)

Mallinnettu aluesuunnitelma kannattaa rakentaa niin, että se palvelee monia eri käyttötarkoituksia mahdollisimman hyvin. Mallista tulee saada helposti ulos erilaisia näkymiä ja tämän edellytyksenä on se, että malli on hyvin organisoitu. Eskelisen mukaan SketchUp:ssa geometria kannattaa jakaa omiin ryhmiinsä ja tasoja voi olla vain yksi. Tarkan ryhmittelyn avulla mallista saadaan helposti näkyviin halutut asiat. (Eskelinen 2016.)

Paras vaihtoehto aluesuunnitelman julkaisuun on mallista saadut valokuvat, joiden päälle pystyy tekemään erilaisia huomioita ja merkintöjä. Valmiiden näkymien avulla valokuvat saadaan mallista aina samasta kuvakulmasta. PDF-muodossa oleva, A3-kokoon tehty julkaisu sisältää viisi erilaista kuvaa, ja julkaisua käytetään työmaalla kommunikoinnin apuvälineenä. 29.3.2016 päivätty julkaisu ULS-työmaan aluesuunnitelmasta on diplomityön liite numero 1. (Eskelinen 2016.)

ULS-työmaan aluesuunnitelman julkaisu koostuu viidestä kuvasta (liite 1):

- Kaksiulotteinen aluesuunnitelma.
- Kolmiulotteinen aluesuunnitelma, johon on rajattu vain työmaa-alue.
- Kolmiulotteinen aluekuva, jossa näkyy myös ympäröivät rakennukset ja kauempana sijaitsevat sosiaalityilat.
- Lohko- ja moduulikartta sekä porraskuulujen tunnuks.
- Laaja aluekuva, jossa on kuvattu ajo- ja kevyenliikenteenreitit työmaan ympäristössä.

ULS-työmaalla ei löydetty käyttötarkoitusta animaatioille, joita olisi voinut luoda SketchUp:lla. Sen sijaan työmaalla on kuvattu pienoishelikopterilla video, jota käytetään apuvälineenä työmaaperehdytyksessä. Lisäksi aluesuunnitelman eri versioissa käytetyistä PNG-muodossa olevista kuvista on luotu video, joka havainnollistaa rungon asennuksen etenemisen. Kuvat on otettu mallista runkovaiheen aikana, viikon välein. (Eskelinen 2016.)

#### **4.4.9 Yhteenveto yritysten käyttämistä työkaluista mallintamisessa**

Taulukkoon 4 on koottu yhteenveto kaikkien tutkittujen yritysten käyttämistä työkaluista mallintamisessa. Revit on suosituin mallinnusohjelma tutkituissa yrityksissä. Pääasiallisesti Revit:iä käyttää viisi kahdeksasta tutkitusta yrityksestä. SketchUp on laajasti käytössä neljässä yrityksessä. Malliin saadaan aikariippuvuus pääosin Synchro PRO:n avulla ja sitä pidettiin Amerikkalaisissa rakennusalan yrityksissä vakiintuneena työkaluna aikataulun ja tietomallin yhteensovittamisessa. Haastatteluiden perusteella voidaan todeta, että viidellä yrityksellä kahdeksasta tutkitusta yrityksestä on käytössään oma 3D-objekteja sisältävä objektikirjasto. Mallinnetun aluesuunnitelman tärkeimpänä hyötynä nähtiin sen havainnollisuus ja kommunikoinnin parantuminen.

	Pääasiallinen mallinnusohjelma	Aikariippuvuuden lisääminen malliin	Onko yrityksellä oma objektikirjasto	Mallinnetun aluesuunnitelma tärkeimmät hyödyt.
Ryan Companies	SketchUp	SynchroPRO	ei tiedossa	Työmaatoimintojen ja kaluston yhteensovitus ja parantunut kommunikointi.
Webcor Builders	Revit	SynchroPRO tai eri näkymien luonti Revit:ssä.	on	Kommunikoinnin ja yhteistyön parantuminen.
Turner Construction	Revit tai SketchUp	SynchroPRO	on	Viranomaisten hyväksyntäprosessi nopeutunut.
Trimble Solutions	SketchUp	SketchUp:ssa eri näkymien avulla.	on	Mallin havainnollisuus.
Balfour Beatty	Revit	ei tiedossa	ei tiedossa	Kommunikaation apuväline.
China State Construction	Revit	ei tiedossa	on	Mallin visuaalisuus ja mahdollisuus aika- ja kustannusriippuvuuden lisäämiseen.
Ramirent	Revit	Vico Office tai SynchroPRO	on	Kalustovuokrauksen tehokkuuden ja asiakaspalvelun parantuminen.
SRV Rakennus Oy	SketchUp	Vico Office tai eri näkymien luonti SketchUp:lla.	ei	Havainnollinen, kommunikointia ja yhteistyötä parantava työkalu.

Taulukko 4: Yhteenveto tutkittujen yritysten käyttämistä työkaluista mallintamisessa.

## 4.5 Case-tutkimuksen aluesuunnittelussa käytettävät menetelmät

Tämän tutkimuksen tavoitteeksi oli asetettu, että case-tutkimuksen aikana verrataan perinteistä kaksiulotteisen aluesuunnitelman suunnitteluprosessia tietomallipohjaiseen suunnitteluprosessiin, niin ajankäytön, saatavilla olevien lähtötietojen, että lopputuotteen näkökulmasta. Kohdeyrityksen sisäisissä haastatteluissa selvisi, että kaksiulotteiset aluesuunnitelmat on tehty perinteisesti AutoCAD:lla, joten tämän takia myös case-kohteen 2D-aluesuunnitelma tehdään AutoCAD:lla.

Haastatteluiden ja kirjallisuustutkimuksen perusteella selvisi, että aluesuunnitelmia on mallinnettu monella eri ohjelmalla, kuten Teklalla, ArchiCAD:lla, Revit:illä ja SketchUp:lla. Revit ja SketchUp olivat näistä ohjelmista selvästi suosituimmat. Revitin hyvänä puolena SketchUp:iin verrattuna nähtiin määrätietojen saanti ulos mallista. SketchUp:n etuna taas ovat kattavampi objektikirjasto, Google Earth -yhteensopivuus, yhteensopivuus eri tiedostoformaattien kanssa sekä mahdollisuus animaatioiden luontiin mallin avulla. Kummassakaan ohjelmassa ei ole valmista 4D-työkalua, jolla objekteihin voitaisiin suoraa lisätä aikariippuvuus, mutta monissa kohteissa aikariippuvuus oli lisätty malliin Synchro PRO:n avulla.

Case-kohteen aluesuunnitelma mallinnetaan SketchUp:lla. Tämä valinta tehdään sen takia, että mallista ei tarvitse tässä tapauksessa saada määrätietoa ulos. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä olivat valmiiden mallinnusobjektien hyvä saatavuus sekä yhteensopivuus DAE-muodossa olevan kaupunkimallin kanssa. Revit:iin ei pysty tuomaan DAE-muodossa olevia tiedostoja.

Case-kohteen aluesuunnitelmaan ei pyritä lisäämään aikariippuvuutta Synchro PRO:ssa tai Vico Officessa, vaikka kansainvälisissä haastatteluissa nousikin esille, että Synchro PRO:lla saa tehtyä erittäin havainnollisia simulaatioita kohteen aikataulusta ja työmaalogistiikasta. Kyseisten ohjelmien rajaaminen pois case-kohteen aluesuunnittelusta johtuu siitä, että kohdeyrityksellä ei ole käytössä yhtään lisenssejä Synchro PRO:hon, ja ohjelman käyttömahdollisuuksia halutaan selvittää tarkemmin ennen lisenssien hankkimista. Vico Office taas soveltuu enemmänkin puhtaasti aikataulu- ja kustannushallintaan, joten sen tutkiminen osana tätä diplomityötä ei tuntunut järkevältä. Sen sijaan case-kohteessa kokeillaan animaation luontia SketchUp:lla, koska myös se on koettu hyväksi toimintatavaksi (JongHoon ja Castillo 2015). Animaatioon lisätään aikatauluriippuvuus rakennuksen rungon eri lohkojen pystytysjärjestyksen osalta.

## 5 Case-kohteen aluesuunnittelu ja objekti- kirjaston kasaaminen

Tässä luvussa tutkitaan tietomallipohjaista aluesuunnittelua case-kohteessa. Ensimmäisessä kappaleessa esitellään case-kohde. Toisessa kappaleessa kuvaillaan ensin kohteen kaksiulotteinen aluesuunnitteluprosessi ja sen jälkeen kolmiulotteinen aluesuunnittelu-prosessi. Lopuksi näitä kahta prosessia vertaillaan keskenään. Toisessa kappaleessa esitellään myös case-kohteen mallinnetusta aluesuunnitelmasta tehdyt kolme erilaista julkaisua. Kolmannessa kappaleessa kootaan diplomityön tuloksena syntyvä, alue- ja logistiikkasuunnittelussa hyödynnettävä, objekti- ja kirjasto kohdeyrityksen käyttöön.

### 5.1 Case-kohteen esittely

Case-kohde on Espoon Otaniemessä Aalto-yliopiston kampusalueelle rakennettava Uusi Rakennus (Väre). Kuvassa 28 on havainnekuva rakennuksen itäsivulta. Rakennus sijoittuu Otakaari 1:n ja Tietotie 1:n väliselle alueelle. Kohde valmistuu keväällä 2018 ja se tulee Aalto-yliopiston taiteiden ja suunnittelun korkeakoulun käyttöön. Kokonaisuudessaan rakennus tulee olemaan kooltaan 33000brm<sup>2</sup>, ja siihen sijoittuu Aalto-yliopiston toimintojen lisäksi uusi Metrokeskus palveluineen. Kohteen arkkitehtisuunnittelusta vastaa Versta Architects, jotka voittivat vuonna 2012-2013 käydyssä arkkitehtikilpailun.



Kuva 28: Case-kohteen havainnekuva.

### 5.2 Aluesuunnitteluprosessi case-kohteessa

#### 5.2.1 Saatavilla olevat lähtötiedot

Kohteen suunnittelu tehdään kaikilla suunnittelualoilla mallintamalla. Kaksiulotteiset piirustukset tulostetaan suoraan tietomallista. Projektissa mallintamisessa noudatetaan



YTV 2012 –ohjeistusta ja projektikohtaista tietomallinnusohjetta. Aluesuunnitelman mallinnuksessa on lähtötietona käytettävissä kaikkien suunnittelualojen IFC-mallit sekä osa natiivimalleista, kuten rakennemalli.

Maanrakennusurakoitsija aloitti kohteessa maanrakennus, paalutus ja perustustyöt ennen kuin kohdeyritys valittiin kohteen palveluntuottajaksi. Maanrakennusurakoitsijalla oli käytössä AutoCAD:lla tehty 2D-aluesuunnitelma, joka oli hyväksytetty tilaajalla ja rakennusvalvonnassa. Suunnitelmaa käytettiin myös tiedottamisessa ja siihen oli merkitty ympäröivän alueen kevyenliikenteen kulkureitit. Aluesuunnitelma oli tehty vanhan asemapiirustuksen päälle.

Kaupungit ovat selvästi kiinnostuneet muodostamaan kaupunkimalleja ja tarjoamaan niitä myös erilaisiin tarkoituksiin. Kohdeyritys tekee Espoon kaupungin kanssa yhteistyötä ja lähetämme heille IFC-muodossa olevia malleja kohdeyrityksen rakennuskohteista. Case-kohde sijaitsee Otaniemessä ja alueesta on luotu kaupunkimalli, joka on saatavilla kolmessa eri tiedostomuodossa (DAE, FBX ja OBJ) osoitteesta: <http://3dcitymodelhackathon.com/> (saatavilla 17.4.2016). Kaupunkimalli sisältää maanpinnan mallin sekä alueella olevat 3D-rakennukset LOD1-tarkkuustasolla.

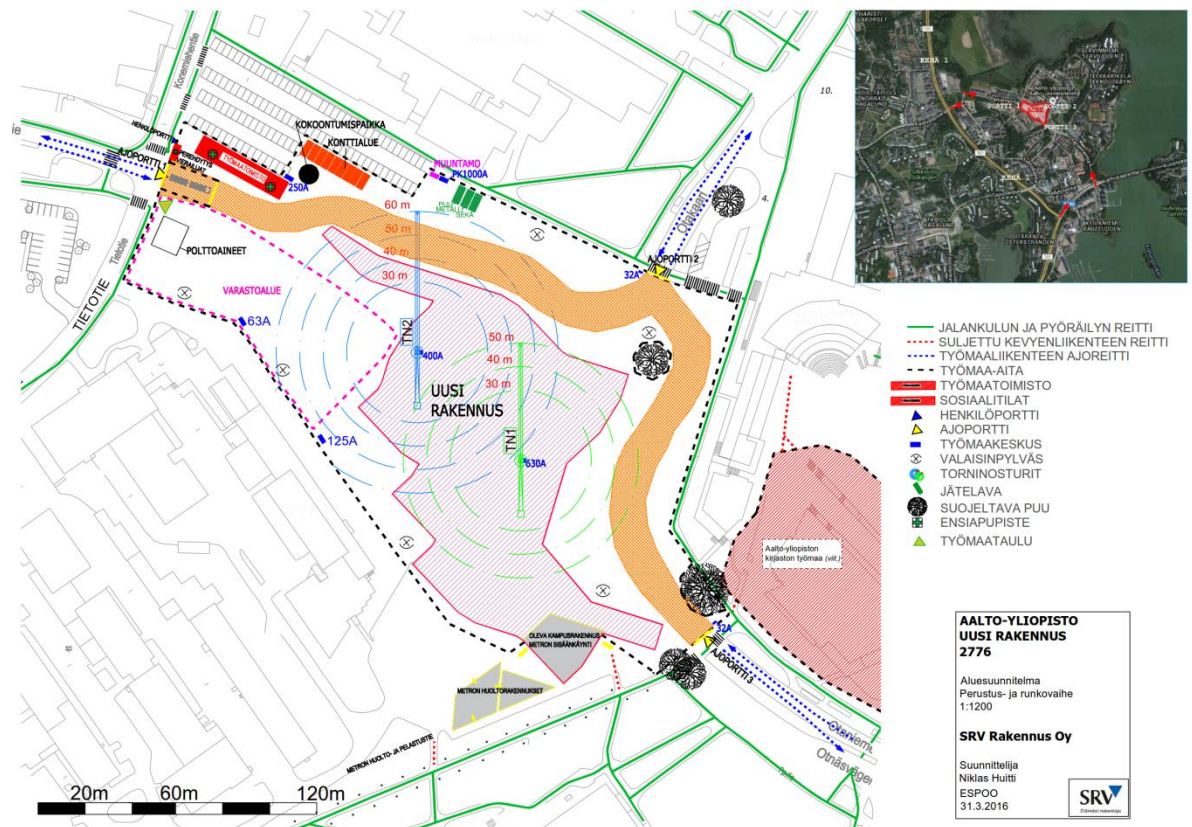
### 5.2.2 Aluesuunnitteluprosessi AutoCAD:ssa

Case-kohteen aluesuunnittelu alkoi AutoCAD:lla maanrakennusurakoitsijan käyttämän aluesuunnitelman pohjalta. Rakennusalue on laaja, joten mittakaavaksi valikoitui 1:1200. Kohteen työmaapäälliköllä oli tälläkin työmaalla selvä näkemys siitä, miten työmaa-alue kannattaa järjestellä, jotta mahdollistetaan tehokas ja turvallinen rakennustuotanto. Työmaapäälliköllä on vankka kokemus rakentamisesta, joten hän osaa ajatella työmaajärjestelyiden vaikutuksen koko työmaa-ajalle. Tällainen tieto ja kokemus ovat erittäin kallisarvoisia työmaan aluesuunnittelussa.

Aluesuunnitelmassa (kuva 29) on esitetty ympäröivät kevyenliikenteen reitit, suljetut kevyenliikenteen reitit, työmaaliikenteen ajoreitit, työmaa-aitaus, työmaatoimisto, sosiaalitalat, henkilöportti, ajoportit, työmaa-alueen sähköistys ja valaistus, kokoontumispaikka, varastoalueet, tulevat torninosturit ja niiden nostosäteet, jätelavat, suojeltavat puut, ensiapupisteet, työmaatiet sekä työmaataulu. Aluesuunnitelman (kuva 29) yläkulmaan on liitetty ilmakeku Otaniemen alueesta. Vaikka ilmakeku on pieni, niin siitä näkee mihin rakennusalue sijoittuu ja miten eri porteille päästään.

Kuvan 29 aluesuunnitelmasta on tehty erilaisia versioita eri tarkoituksiin. Jos samaan aluesuunnitelmaan vie liikaa tietoa, niin siitä ei saa enää selvää. Havainnollisuus on tärkeä osa aluesuunnitelmaa, joten siitä ei haluttu tinkiä. Case-kohteessa samalle pohjalle tehtyjä suunnitelmia ovat aluesuunnitelma, pysäköintisuunnitelma, alueen sähköistys-suunnitelma, kameranuunnitelma, sekä palo- ja pelastussuunnitelma. Geometria on jaettu eri tasoille, jolloin esimerkiksi rakennusalueen sähköputkitukset saa helposti näkyviin tai piilotettua.

AutoCAD:n avulla aluesuunnittelu on melko nopeaa ja tehokasta, jos ohjelmaa osaa käyttää hyvin. Tiedosto pitää myös organisoida järkevästi heti alusta lähtien. Geometria kannattaa jakaa eri tasoille, jolloin voi helposti hallita, mitä ohjelman piirtotilassa on näkyvissä ja mitä tulosteessa tulee näkymään. Työmaan aluesuunnittelussa hyödynnettäviä 2D-symboleita on runsaasti saatavilla ja niiden käyttö nopeuttaa aluesuunnittelua huomattavasti.



Kuva 29: Case -kohteen AutoCAD:lla tehty perustus- ja runkovaiheen aluesuunnitelma.

### 5.2.3 Aluesuunnitteluprosessi SketchUp:ssa

SketchUp:ssa mallinnusprosessi lähti liikkeelle siitä, että DWG-muodossa olevasta aluesuunnitelmasta muokattiin AutoCAD:lla sellainen versio, jossa on esitetty ympäröivät rakennukset ja tiet sekä tulevan rakennuksen ja työmaa-alueen rajat. Ennen DWG-tiedoston vientiä SketchUp:iin on tärkeää ymmärtää, mitä AutoCAD:n geometriaa SketchUp tukee. SketchUp:n Internet-sivuilla on luettavissa hyvä opas tähän liittyen (SketchUp Help Center 2016). Oppaasta löytyy myös muita ohjelman käyttöä helpottavia artikkeleita. Case-kohteessa DWG-tiedoston tuonnissa oli se ongelma, että DWG-tiedoston kaikki geometria ei ollut z-akselilla samalla tasolla. Tätä ei havaittu AutoCAD:ssä, jossa oli käytössä vain kaksiulotteinen näkymä.

Mallinnetussa aluesuunnitelmassa päätettiin hyödyntää rakennesuunnittelijan IFC-muodossa olevaa rakennemallia. Tiedosto vietiin ensin Simple BIM:iin, jossa mallista saatiin luotua kevyempi versio. Aluesuunnitelmassa olevan rakennemallin avulla on tarkoitus vain havainnollistaa kohdetta, joten mallista poistettiin kaikki havainnollisuuden kannalta epäolennainen tieto. Rakennemallin tiedostokoko saatiin keventämällä puolitetulla mallin havainnollisuuden siitä kärsimättä. Rakennemallin tarkka ja oikein tehty ryhmittely on erittäin tärkeää, jos aluesuunnitelmassa halutaan esittää eri tilanteita rungon etenemisestä, kuten tässä kohteessa oli tavoitteena. Ryhmittelyn avulla voidaan myös eri väreillä esittää esimerkiksi jo asennetut rakenteet ja seuraavaksi asennettavat rakenteet.

Seuraavana vaiheena mallinnusprosessissa Otaniemen kaupunkimallin tuonti SketchUp:iin. Case-kohteen aluesuunnitelmassa hyödynnettiin kaupunkimallista vain ympäröivien rakennusten LOD1-tason 3D-malleja. Maan pintamalli jätettiin hyödyntämättä,

koska rakennusalueen korkeuserot eivät ole merkittäviä ja objektien sijoittelu ja työmaatiien mallinnus onnistui helpommin tasaiselle pinnalle.

Malli alkoi tässä vaiheessa näyttää jo melko havainnolliselta, mutta siitä puuttui edelleen kaikki työmaasta muistuttavat elementit. Seuraava vaihe olikin viedä malliin työmaa-aitaus, työmaatilat, ajoportit, kulkuesteet, sähkökeskukset, jätelavat, muuntamo, työmaataulu, varastoalueet, suojellut puut, nosturit ja nostosäteet, työkoneita ja henkilönostimia. Tärkeänä asiana nähtiin myös lisätä eri lohkojen kirjaintunnukset lohkojen päälle sekä teiden nimet 3D-tekstillä.

SketchUp:lla mallintaessa on tärkeää käyttää sellaisia asetuksia ja mallinnustekniikoita, että malli toimii mahdollisimman sulavasti. Mallista tulee väistämättä koko ajan rasakaampi, kun siihen viedään lisää geometriaa. Tiedostokoko kasvoi tässä kohteessa 250MB suuruiseksi. Muiden tekemiä objekteja käytettäessä on myös hyvä tarkistaa, ettei objekti ole käyttötarkoitukseen nähden liian yksityiskohtainen.

### **Mallin organisointi SketchUp:ssa**

SketchUp:ssa muodostetaan malli pintoja ja viivoja hyödyntämällä. Viivoja voidaan yhdistellä, siirtää tai muuten hyödyntää. Yhdistämällä kolme tai useampi viivaa muodostuu niiden väliin pinta. Pinta koostuu sitä reunustavista viivoista ja ohuesta kerroksesta. (Tal 2011, s.11.)

Mallinnusprosessin aikana kävi selväksi, että malli pitää organisoida mahdollisimman hyvin, jos mallia haluaa jatkossa muokata mahdollisimman helposti ja jos siitä haluaa ulos erilaisia näkymiä ja materiaalia eri tarkoituksiin. SketchUp:ssa pystyy yhdistämään viivat ja pinnat tietyiksi joukoiksi, jolloin mallin hallinta helpottuu ja nopeutuu huomattavasti. Kahdesta tai useammasta viivasta tai pinnasta pystytään luomaan komponentti tai ryhmä. Komponenttien ja ryhmien käyttö tuo seuraavat edut:

- Niitä voidaan muokata, kopioida, kääntää tai poistaa.
- Niitä voidaan siirtää erilleen vieressä olevan geometrian luota. Geometria, josta ei ole luotu ryhmää tai komponenttia, tarttuu kiinni vieressä olevaan geometriaan.
- Ne voidaan helposti asettaa oikeille tasoille.

Komponentit ja ryhmät eroavat yhdellä tärkeällä tavalla toisistaan. Jos komponenttia muokkaa, vaikuttaa muutos kaikkiin samanlaisiin komponentteihin. Kopioidun ryhmän muokkaaminen vaikuttaa vain kyseiseen ryhmään eikä muihin kopioituihin ryhmiin. (Tall 2011 s.26.)

### **5.2.4 Kaksiulotteisen- ja kolmiulotteisen aluesuunnitteluprosessien vertailu**

AutoCAD soveltuu hyvin kaksiulotteiseen aluesuunnitteluun, koska ohjelmassa on laajasti tarjolla erilaisia suunnittelua helpottavia ominaisuuksia. AutoCAD:n käyttöön löytyy paljon oppaita, joten käytön opettelu on helppoa. Teknisiin ongelmiin löytyy lähes aina ratkaisu Internetin hakukoneiden avulla. Aluesuunnittelussa hyödynnettäviä 2D-symboleita on laajasti saatavilla ja aluesuunnitelman pohjaksi on myös aina saatavilla DWG-muodossa oleva asemapiirros tai alueen järjestelypiirros.

SketchUp:n avulla aluesuunnitelman mallintaminen onnistuu helposti, kun perustoimintoja oppii käyttämään. Jos käytössä on valmiita työmaan aluesuunnittelussa hyödynnettäviä objekteja, niin mallinnus nopeutuu huomattavasti, kun objektit pitää vain sijoitella paikoilleen. Tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa selkeä etu kaksikulotteiseen aluesuunnitteluun verrattuna on se, että valmista mallia voi hyödyntää monipuolisesti eri käyttötarkoituksissa. Tietomallipohjaisen aluesuunnitelman pohjalta voi tehdä monia erilaisia julkaisuita, kuten animaatioita ja interaktiivisia kuvia. Mallinnetun aluesuunnitelman havainnollisuus on myös sen kiistaton etu verrattessa kaksikulotteiseen aluesuunnitelmaan. Case-kohteen aluesuunnitelmassa mallin havainnollisuus korostuu, koska kohteen vesikatto ja julkisivu ovat hyvin monimuotoisia. Kaksikulotteisesta aluesuunnitelmasta ei saa mitään tietoa siitä, minkälaiset vesikattojen korkoerot ovat. Mallinnettua aluesuunnitelmaa voi hyödyntää myös myöhemmin tuotannon simuloinnissa, esimerkiksi Synchro PRO:n avulla.

Case-tutkimuksen perusteella ei voi suoraan verrata kaksikulotteisen- ja tietomallipohjaisen aluesuunnitteluprosessien ajankäyttöä keskenään, koska aluesuunnitteluun kuluva aika on todella riippuvainen siitä, kuinka hyvin ohjelmia osaa käyttää sekä kuinka tarakan mallin haluaa tehdä. Jos AutoCAD:ia ja SketchUp:ia alkaisi käyttää ilman aikaisempaa kokemusta, niin SketchUp:n käytön oppisi todennäköisesti nopeammin, koska käyttöliittymä on yksinkertaisempi. Mallintamisessa tarpeellisten objektien puuttuminen hidastaa myös huomattavasti suunnittelua. Jos aluesuunnitelmaan haluaa lisätä esimerkiksi varastoteltan, mitä ei ole valmiiksi saatavilla, niin sen mallintamiseen voi kulua aikaa esimerkiksi 20 minuuttia. Teltta on mahdollista tehdä myös yksinkertaistettuna, jolloin sen mallintaminen voi onnistua paljon nopeammin. Jos tarvittava objekti olisi aina valmiiksi saatavilla halutulla tarkkuudella, niin sen sijoittaminen oikealle paikalle mallissa on hyvin nopea toimenpide.

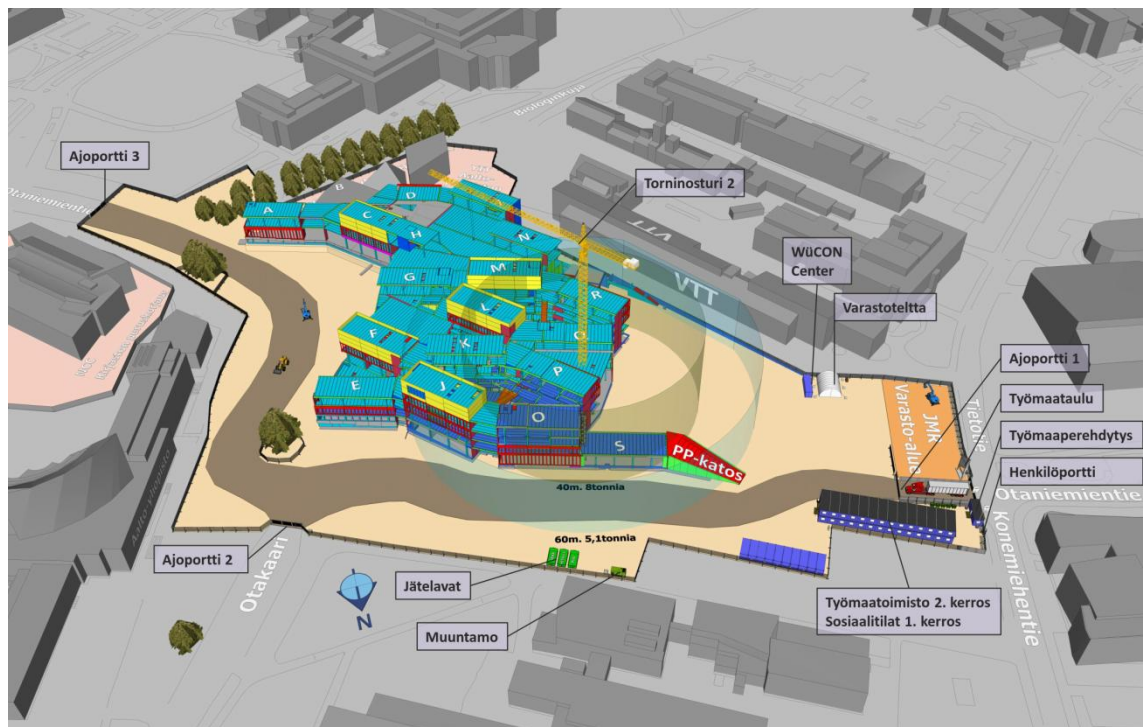
### **5.2.5 Mallinnetun aluesuunnitelman hyödyntäminen**

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia ja löytää mallinnetun aluesuunnitelman käyttötarpeet. Tämän takia case-tutkimuksessa halutaan kokeilla laajasti erilaisia käyttötarpeita mallinnetulle aluesuunnitelmalle. Käyttötarpeet selviävät erilaisten julkaisutapojen avulla. Case-kohteessa ensimmäinen julkaisu aluesuunnitelmasta on SketchUp:lla luotu animaatiovideo. Toinen julkaisu on mallista otettu kuvakaappaus, jonka päälle on lisätty tarpeellisia tekstikenttiä. Kolmas julkaisu on interaktiivisen media-alustapalvelun applikaatiossa luotu kuva, joka on lisätty kohteen Internet-sivuille antamaan tietoa myös hankkeen ulkopuolisille henkilöille.

SketchUp:ssa on mahdollista luoda animaatiovideoita mallin avulla. Malliin voi luoda erilaisia näkymiä joiden välillä mallissa liikutaan animaation aikana. Näkymien välillä voidaan myös siirtyä leikkauksesta toiseen, jolloin voidaan simuloida esimerkiksi rungon asennusjärjestys, kuten case-kohteen animaatiossa tehtiin. Mallinnetusta aluesuunnitelmasta luotiin SketchUp:lla animaatiovideo (Huitti 2016), jonka tarkoitus on näyttää ulkopuolisille, minkälainen työmaa-alue on, mitä siellä tehdään ja missä järjestyksessä. Lisäksi animaatio näytetään jokaiselle uudelle työntekijälle osana työmaaperehdytystä. Animaatio on myös näkyvillä työmaan info-TV:ssä, joka on sijoitettu niin, että kaikki työntekijät näkevät sen vähintään työmaalle tullessaan ja sieltä lähtiessään. Animaatiossa on havainnollistettu selkeästi miten rakennus on jaettu lohkoihin ja missä järjestyksessä lohkot rakennetaan. Myös torninostureiden nimet, sijainnit ja asennusjärjestys käy ilmi animaatiosta. Jatkossa työmaan esittelyvideon voi päivittää SketchUp:ssa työmaatilanteen muuttuessa. Eri näkymiä ei tarvitse luoda uudestaan, kun ne on jo kertaalleen luotu ja tallennettu.



Paperista julkaisua varten malliin on luotu oma näkymä, johon on tallennettu kameran paikka. Näin mallista saa sen päivityksen jälkeen ulos tarkan PNG-muodossa olevan valokuvan, aina samasta kuvakulmasta. Mallista saatu kuva viedään aluesuunnitelman julkaisua varten luotuun kohdeyrityksen omaan esityspohjaan. Kuva liitetään esityspohjalle aina samaan kohtaan, jolloin esitysohjelman työkaluilla tehdyt tekstikentät ja huomiot pysyvät oikeilla paikoillaan. Lopullinen julkaisu on PDF-muodossa ja A3-koossa. Tarvittaessa aluesuunnitelmasta tehdään myös isompia tulosteita, esimerkiksi sosiaalitoimien, neuvotteluhuoneen ja perehdytystoimiston ilmoitustauluille. Jatkossa julkaisuun voidaan lisätä tarpeen mukaan myös muita kuvia mallista, joiden avulla voidaan havainnollistaa eri asioita, kuten ULS-työmaalla on tehty (liite 1). Kuvassa 30 on nähtävillä case-kohteen aluesuunnitelma 20.4.2016 julkaistu versio. Esitysohjelman tekstiikkunoilla on tuotu lisätietoa kuvan päälle niin, ettei aluesuunnitelman selkeys kärsi.



### Työmaan aluesuunnitelma 20.4.2016 ACRE – Uusi Rakennus

NHu



**Kuva 30: Case-kohteen aluesuunnitelma.**

Kolmas kokeilu mallinnetun aluesuunnitelman julkaisulle on erään interaktiivisen media-alustapalvelun applikaatiossa luotu kuva kohteen aluesuunnitelmasta (kuva 30). Palvelussa aluesuunnitelmaan on mahdollista lisätä erilaisia tageja. Tageihin voidaan liittää erilaista sisältöä, kuten kuvia, videoita, ääntä, tekstiä ja linkkejä. Ensimmäisessä kokeilussa oli tarkoitus luoda interaktiivinen kuva työmaan Internet-sivuille. Kuvaan liitettiin sisältöä, jonka ajateltiin kiinnostavan myös työmaan ulkopuolisia henkilöitä. Esimerkkinä tästä kuvan 31 vasemmassa alalaidassa olevat Facebook ja play tagit. Facebook tagista pääsee tykkäämään kohdeyrityksen Facebook-sivuista sekä play-tagista aukeaa video, josta näkee miltä Otaniemen alue näyttää tulevaisuudessa. Interaktiivisen kuvan tarkoitus ei ole korvata aluesuunnitelmaa vaan kokeilla, miten sitä pystyy hyödyntämään viestinnässä. Työmaakäyttöön on mahdollista luoda vastaavasti erisisältöisiä kuvia. Kuvassa 31 olevassa interaktiivisessa kuvassa on avattu yhden tagin sisältö. Tagista aukeaa kuva Lehmuskujalta ja kuvan yhteyteen on lisätty teksti, jossa pahoitellaan

Lehmuskujalla häirinneestä luvattomasta työmaaliikenteestä. Tekstissä myös luvataan, että luvattomaan työmaaliikenteeseen puututaan aktiivisesti myös jatkossa.



Kuva 31: Case-kohteen aluesuunnitelmasta luotu interaktiivinen kuva.

Mallinnettua aluesuunnitelmaa hyödynnetään apuvälineenä suunnittelijoiden ja työmaan välisessä kommunikoinnissa. Kuvan 32 avulla hyväksyttiin työmaataulun sijainti arkkitehdilla, ja mallin avulla havainnollistettiin myös geotekniselle suunnittelijalle, missä on ensimmäinen autonosturipaikka, miten päin autonosturi sijoittuu ja mitkä ovat autonosturin nostosäteet.



Kuva 32: Työmaataulun paikan hyväksyttämiseen käytetty havainnekuva.

## **5.3 Objektikirjaston määrittäminen ja sen kokoamisen suunnittelu**

### **5.3.1 Mallinnusobjektit kirjallisuudessa**

Työmaan aluesuunnittelussa käytettävien objektien tarkkuustaso ei välttämättä tarvitse olla kovin suuri. Väliaikaisten kalustoa kuvaavien objektien ei välttämättä tarvitse olla tarkkaan mallinnettu, eikä niiden mallintamiseen kannata turhaan käyttää liikaa aikaa. Tärkeintä on, että ulkomitat on mallinnettu oikein. Epätarkkojen objektien mallinnuksessa on järkevää hyödyntää dynaamisia objekteja. Dynaaminen objekti tarkoittaa sitä, että objektin parametreja, kuten kokoa, väriä tai muita vastaavia ominaisuuksia voidaan muuttaa helposti. Näin ollen käyttäjällä ei tarvitse olla esimerkiksi useita erilaisia merikontti-objekteja käytössään, kun kontin mitat ja värin pystyy muuttamaan objektin valikosta. (Deshpande ja Whitman 2014.)

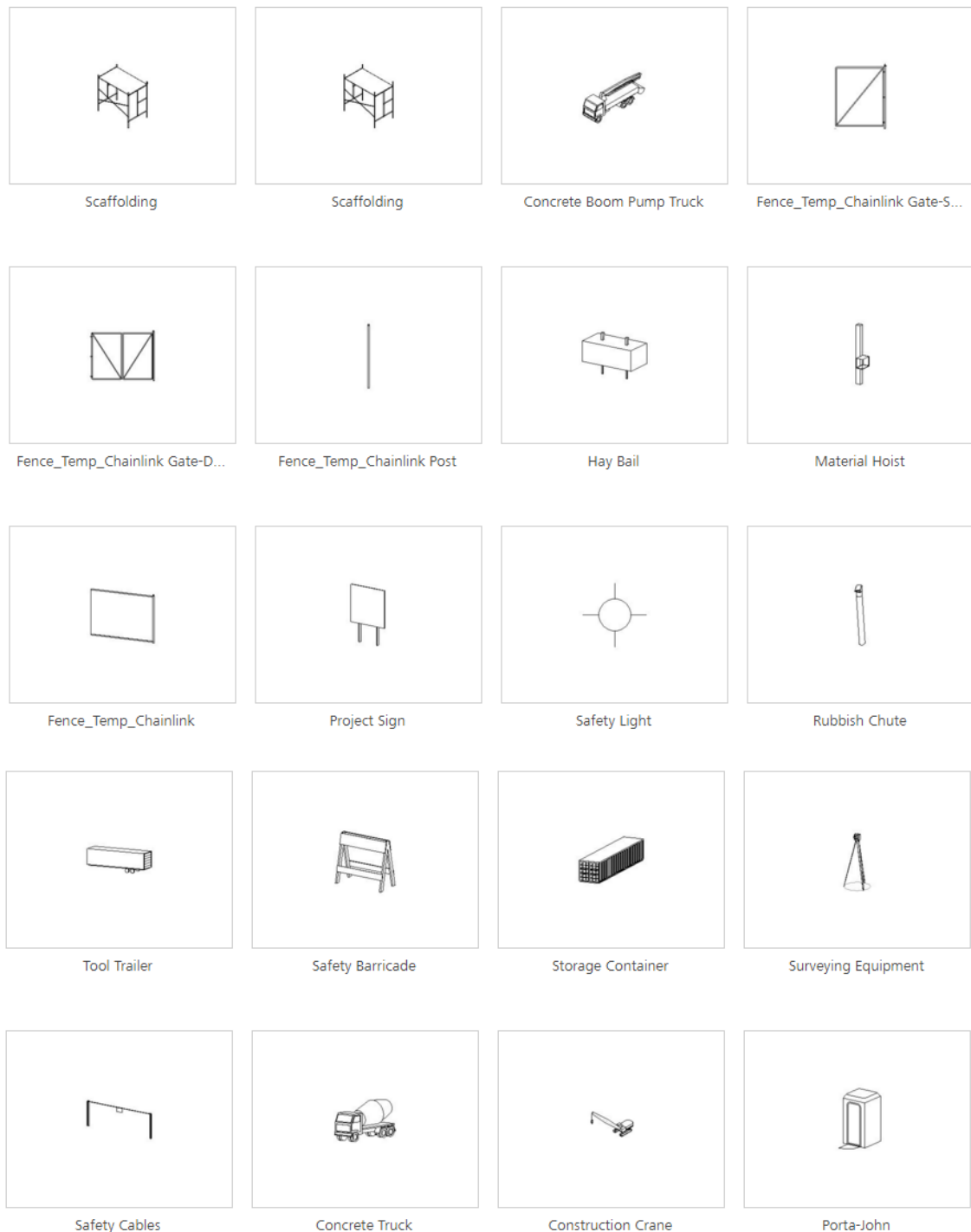
On myös kalustoa, jonka tehtävä on kriittinen työmaan toteutuksen kannalta, kuten nostokalusto. Esimerkiksi autonosturin paikan valinnassa on hyvin tärkeää tietää nosturin nostoarvot sekä puomin pituudet ja kulmat. Tällä hetkellä hyviä dynaamisia objekteja, kuten nostoarvot huomioivia objekteja ei ole vielä saatavilla, mutta niille olisi tarvetta. (Deshpande ja Whitman 2014.)

### **5.3.2 Saatavilla olevien objektien kartoittaminen**

Haastatteluiden perusteella selvisi, että tutkitut yritykset ovat koonneet omat työmaan alue, logistiikka- ja turvallisuussuunnittelussa hyödynnettävät objektikirjastonsa Revit:n ja SketchUp:n objektikirjastojen pohjalta. Revit:n objektikirjastosta on saatavilla kuvasa 33 näkyvät työmaan alue- ja logistiikkasuunnitteluun liittyvät objektit. Käyttäjät eivät voi suoraan lisätä Revit:n kirjastoon objekteja, kun taas SketchUp:n kirjastossa kaikilla käyttäjillä on mahdollisuus julkaista omia objekteja. SketchUp:n objektikirjasto on hyvin laaja, mutta objektien taso ja yksityiskohtaisuus ovat vaihtelevia.

Julkisten objektikirjastojen lisäksi objekteja kyseltiin myös työmaakaluston vuokraajilta, valmistajilta ja maahantuojilta. Sitä kautta saatiin joitain hyödyllisiä objekteja, kuten eri valmistajien putoamissuojaukskalustoa.

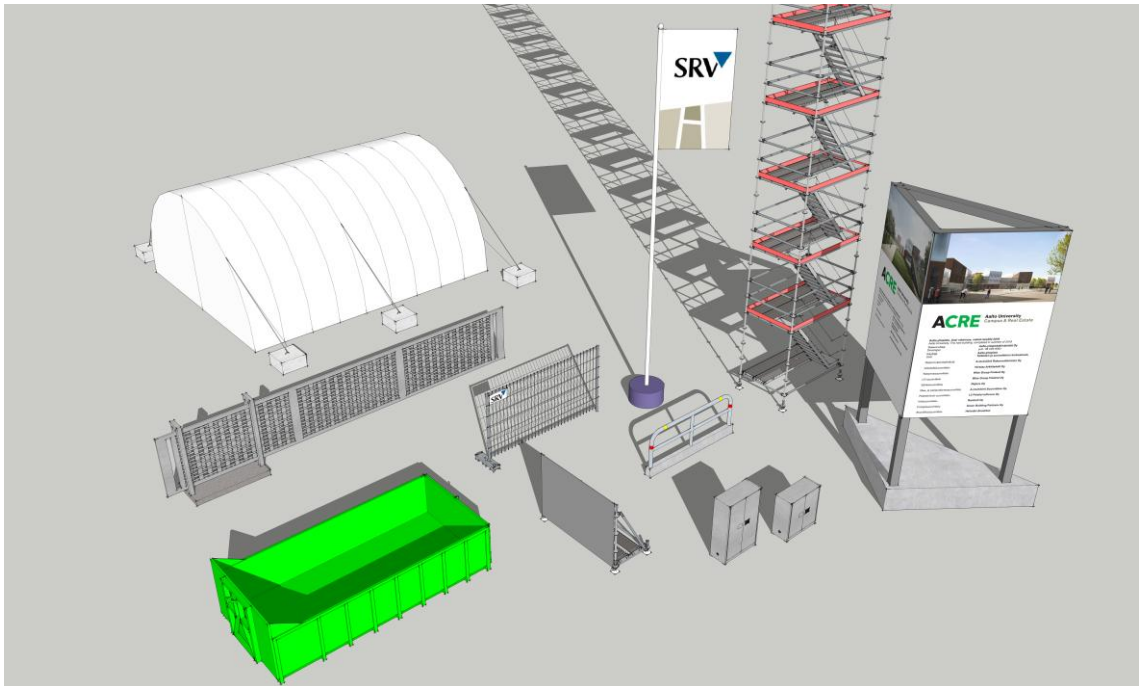




**Kuva 33: Revit:n objektikirjaston työmaasuunnitelmassa hyödynnettäviä objekteja (Autodesk Seek 2016).**

### 5.3.3 Tarvittavien objektien mallinnus

Case-kohteen aluesuunnitteluprosessin aikana kävi ilmi, että kaikkia tarpeellisia aluesuunnitelmassa hyödynnettäviä objekteja ei ollut valmiiksi saatavilla, joten osa piti mallintaa itse. Tällaisia objekteja olivat varastoteltta, työmaaportti, työmaa-aita, roskalava, porrastorni, työmaataulu, raskasaita sekä sähköpääkeskus. Osa näistä objekteista laadittiin muokaten jo olemassa olevia objekteja niin, että ne saadaan palvelemaan käyttötarkoitusta paremmin. Kuvaan 34 on koottu case-kohteen aikana mallinnetut työmaaobjektit.



Kuva 34: Case-kohdetta varten mallinnetut objektit.

### 5.3.4 Aluesuunnitelman laatimiseen tarvittava objekti kirjasto

Aluesuunnitelman laatimiseen tarvittava objekti kirjasto voidaan luoda esimerkiksi Trimble Connect -alustalle. Trimble Connect on pilvipalvelu, jonne käyttäjät voivat luoda omia projekteja ja jakaa projektin sisällä tiedostoja ja tehtäviä muiden projektin osapuolten kanssa. Projektin hallinnoijat voivat lisätä uusia käyttäjiä projektiin sähköpostiosoitteen perusteella. Trimble Connectiin luodun objekti kirjaston etuna on se, että käyttäjät voivat kehittää kirjastoa edelleen. Ennen uuden objektin lataamista, sitä voidaan katsoa selaimessa Trimble Connect:n oman 3D-katselutoiminnon avulla. Objekteista nähdään myös perustiedot ennen lataamista, kuten tekijän nimi, muokauspäivämäärä, tiedostokoko ja muoto. Objekteja on myös mahdollista kommentoida vapaassa kommenttikentässä, jolloin muut käyttäjät voivat antaa kommentteja esimerkiksi objektin käyttöön, yksityiskohtaisuuteen tai päivitystarpeeseen liittyen.

Kohdeyrityksen käyttöön kasattavan objekti kirjaston rakenne piti määrittellä itse, koska kirjallisuudessa ei esiintynyt yhtään valmista alue-, logistiikka- ja turvallisuussuunnittelussa hyödynnettävän laajan objekti kirjaston esimerkkirakennetta. Alla olevaan kansiorakenteeseen päädyttiin siitä syystä, että saatavilla olevat objektit haluttiin jaotella mahdollisimman tasaisesti eri kansioihin.

- 01 Työmaatilat ja kalusteet
- 02 Sähkölaitteet ja valaistus
- 03 Työmaa-aitaus ja raja
- 04 Työmaataulut, kyltit ja opasteet
- 05 Telineet ja tikkaat
- 06 Putoamissuojaus
- 07 Henkilö- ja tavarahissit
- 08 Henkilönostimet
- 09 Muotti- ja tuentakalusto
- 10 Materiaalivarastointi ja jätehuolto

- 11 Työmaa-ajoneuvot
- 12 Sammutus ja ensiapu
- 13 Nosturit
- 14 Henkilöt
- 15 Ympäristö
- 16 Muut
- 17 Työmaakansiot

Listassa viimeisenä oleva kansio (numero 17 ) on luotu sen takia, että työmaat voivat lisätä sinne oman alakansionsa. Työmaakansioihin voi tallentaa kuvakaappauksia, animaatioita ja muita julkaisuita työmaalla tehdyistä malleista. Tämä on eräs tapa jakaa ideoita ja tietoa hyvistä toimintatavoista. Yhteistyön avulla pystytään varmasti parantamaan tietomallinnusosaamista ja -käytäntöjä.

## 5.4 Case-tutkimuksen yhteenveto

Case-tutkimus alkoi case-kohteen esittelyllä, jonka jälkeen kohteen aluesuunnittelu tehtiin kaksiulotteisesti AutoCAD:lla ja kolmiulotteisesti SketchUp:lla. Aluesuunnitteluprosesseja verrattiin keskenään, niin ajankäytön, saatavilla olevien lähtötietojen, että lopputuotteen näkökulmasta. Itse suunnitteluprosessin aikana ei eri menetelmissä havaittu merkittäviä eroja, mutta lopputuotteessa havaittiin suuri ero. Mallinnettu aluesuunnitelma osoittautui selvästi havainnollisemmaksi ja siitä saatiin luotua erilaisia julkaisuja. Case-tutkimus osoitti, että aluesuunnitelman mallintaminen on hyvä toimintatapa.

Suunnitteluprosessien vertailun jälkeen luvussa esiteltiin, miten monipuolisesti mallinnettua aluesuunnitelmaa voidaan hyödyntää ja minkälaisia julkaisuita siitä tehtiin case-hankkeessa. Kaikki esiteltyt julkaisumuodot osoittautuivat käyttökelpoisiksi ja ne todistivat oikeaksi kirjallisuudessa useasti esiintyneen väitteen, jonka mukaan uuden työkalun käyttöönotossa tulee muuttaa prosessia missä sitä käytetään. Muuten uudesta työkalusta ei saada kaikkea hyötyä irti.

Tämän luvun viimeisessä kappaleessa määriteltiin kohdeyrityksen käyttöön tuleva objektikirjasto. Objektikirjasto kasattiin hyödyntäen eri lähteistä saatuja valmiita objekteja. Objektikirjasto luotiin Trimble Connect -alustalle ja sille määriteltiin kansiorakenne itse. Myös osa objekteista jouduttiin mallintamaan itse, koska kaikkia case-kohteen aluesuunnitelman mallintamisessa tarvittavia objekteja ei ollut valmiiksi saatavilla.

## 6 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tässä luvussa kootaan tutkimuksen johtopäätökset yhteen. Ensimmäisessä kappaleessa pohditaan, miten tutkimus onnistui sille asetettuihin tavoitteisiin nähden. Toisessa kappaleessa arvioidaan tutkimustuloksia, ja pohditaan vastauksia työlle määriteltyihin tutkimuskysymyksiin. Kolmannessa kappaleessa pohditaan tietomallipohjaisen aluesuunnittelun tulevaisuutta sekä siihen liittyviä jatkotutkimusaiheita.

### 6.1 Tutkimusmenetelmien yhteenveto

#### 6.1.1 Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa oli tarkoitus selvittää työmaan aluesuunnittelun tämän hetkinen tilanne. Toisessa vaiheessa oli tarkoitus tutkia tietomallien hyödyntämistä rakennusallalla, keskittyen erityisesti työmaan aluesuunnitteluun. Tietoa pyrittiin saamaan paitsi tehdyistä tutkimuksista, mutta myös toimintatavoista eri rakennusalan toimijoiden keskuudessa.

Kirjallisuudesta löytyi melko laajasti sekä kotimaista että ulkomaista kirjallisuutta liittyen yleisesti työmaan aluesuunnitteluun ja tietomallintamiseen. Kirjallisuudessa tutkittiin aiheita aina tietystä näkökulmasta, esimerkiksi aluesuunnittelua tuotannon optimoinnin näkökulmasta. Tietomallintamiseen yleisesti liittyvää kirjallisuutta oli laajasti saatavilla. Mallintamiseen liittyvässä kirjallisuudessa piti arvioida lähdettä aina kriittisesti, ettei tieto ollut vanhentunutta, koska mallinnus on kehittynyt viime vuosina nopeasti. Yli viisi vuotta vanha mallintamiseen liittyvä tieto oli jo usein käyttökelvotonta.

Tietomallipohjaisesta aluesuunnittelusta ei löytynyt ollenkaan tuoretta lähdeaineistoa, joka olisi käsitellyt koko prosessia syvällisesti. Usein tietomallipohjaista aluesuunnittelua käsiteltiin vain yhtenä osana suurempaa kokonaisuutta. Aineistoa, jossa kuvataan konkreettisesti tietomallipohjaista suunnitteluprosessia jollakin ohjelmistolla, ei löytynyt käytännössä lainkaan.

#### 6.1.2 Haastattelut

Haastatteluiden tarkoituksena oli kerätä tietoa tietomallipohjaisen alue- ja logistiikkasuunnittelun tämän hetkisestä tilasta. Haastatteluiden tarkoituksena oli myös löytää hyviä käytäntöjä hyödynnettäviksi case-kohteen alue- ja logistiikkasuunnittelussa. Haastattelut jakautuivat kohdeyrityksen sisäisiin haastatteluihin sekä kansainvälisiin haastatteluihin.

Rakentaminen on yleisesti Suomessa hyvin paikallista toimintaa, joten alan hyvät käytännöt eri maanosien välillä liikkuvat hitaasti. Tämän takia oli hyvä, että tutkimuksessa tehtiin myös kansainvälisiä haastatteluja. Kansainvälisten haastatteluiden avulla sai hyvän kuvan siitä, millä tasolla tietomallinnus ja erityisesti tietomallipohjainen alue- ja logistiikkasuunnittelu on amerikkalaisissa yrityksissä. Kansainvälisten haastatteluiden huonona puolena voi pitää sitä, että haastateltavat henkilöt eivät työskennelleet työmaatehtävissä. Tästä johtuen haastatteluiden avulla ei täysin selvinnyt, miten työmailla oikeasti hyödynnetään mallinnusta aluesuunnittelussa.

Kohdeyrityksen sisäisiin haastatteluihin osallistui työmaatehtävissä työskenteleviä henkilöitä. Haastateltaviksi oli valittu sellaisia henkilöitä, joilla on kokemusta työmaan aluesuunnittelusta ja mallintamisesta. Tämän takia haastatteluiden perusteella saatiin

hyvin selvillä, millä tavalla mallinnettu alue- ja logistiikkasuunnittelu tehdään ja kuinka sitä hyödynnetään.

### **6.1.3 Case-tutkimus**

Case-tutkimuksessa oli tarkoitus hyödyntää tietomallinnusta kohteen aluesuunnitelman laadinnassa. Case-tutkimuksen aikana oli myös tarkoitus verrata perinteistä kaksiulotteista aluesuunnitelman suunnitteluprosessia tietomallipohjaiseen suunnitteluprosessiin, niin ajankäytön, saatavilla olevien lähtötietojen, että lopputuotteen näkökulmasta.

Kirjallisuustutkimuksen ja haastatteluiden perusteella sai hyvät lähtökohdat case-tutkimuksen toteuttamiselle. Case-kohteen aluesuunnitelma laadittiin ensin kaksiulotteisena AutoCAD:lla ja sen jälkeen mallintaen SketchUp:lla. Suunnitteluprosesseja verrattiin keskenään ennalta määritellyistä näkökulmista. Ajankäytön vertailu osoittautui haastavimmaksi, koska tutkimuksen aikana havaittiin, että ajankäyttöön vaikuttaa niin moni asia. Jos suunnitteluprosesseihin käytettävää aikaa haluttaisiin todenmukaisesti vertailla, niin suunnittelun lähtökohtien ja tarkkuustason tulisi olla sama. Kuluvaa aikaa tulisi myös mitata sekuntikellolla.

## **6.2 Tutkimustulosten arviointi ja johtopäätökset**

Diplomityön tuloksena laadittiin toimintaehdotus tietomallipohjaisen aluesuunnittelun käytöstä työmailla. Toimintaehdotuksesta käy ilmi, mitä lähtötietoja mallintamisessa voidaan hyödyntää ja miten mallista saadaan mahdollisimman havainnollinen ja monikäyttöinen. Toimintaehdotuksen avulla on tarkoitus madaltaa työmaahenkilöstön kynnystä käyttää tietomallia myös tuotannon suunnittelussa. Toimintaehdotus (liite 2) koottiin kirjallisuustutkimuksen, haastatteluiden, sekä case-tutkimuksesta saadun tiedon ja kokemuksen perusteella.

Diplomityön toisena tuloksena julkaistiin kohdeyrityksen käyttöön työmaan alue-, logistiikka- ja turvallisuussuunnittelussa hyödynnettävä objektiikirjasto. Objektiikirjasto on jo alkuvaiheessa laaja ja sen on tarkoitus laajentua käytön mukaan. Kun työmailla mallinnetaan uusia tarpeellisia objekteja, niin objektiikirjaston kautta ne saadaan jaettua muiden työmaiden käyttöön.

Diplomityölle oli asetettu neljä tutkimuskysymystä, joihin oli tarkoitus löytää vastaus työn aikana. Alla on esitetty kootusti vastaukset työlle määriteltyihin tutkimuskysymyksiin.

### **Mitä lähtötietoja tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa on olemassa sekä miten niitä kannattaa käyttää?**

Diplomityön ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä kysyttiin, mitä lähtötietoja tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa on olemassa sekä miten niitä kannattaa käyttää. Haastatteluissa painotettiin sitä, että aluesuunnitelman mallintamisessa kannattaa hyödyntää saatavilla olevia lähtötietoja mahdollisimman laajasti (Sosnowski 2016; Eskelinen 2016; Vikmyr 2016). Mitään ei kannata mallintaa tai piirtää uudestaan, mikä on jo kertaalleen mallinnettu. Kirjallisuustutkimuksessa ei esiintynyt suoria ohjeita siihen, mitä lähtötietoja aluesuunnittelussa kannattaa käyttää, mutta case-tutkimuksessa kokeilemalla selvisi, että tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa hyödyllisiä lähtötietoja ovat karstittu ja muokattu asemapiirros, kevennetty rakennemalli sekä valmis kaupunkimalli, jos se on saatavilla. Eskelinen (2016) haastattelu tukee vahvasti näitä väitteitä. SketchUp:lla mallintaessa myös Google Earth:n kautta saatavat 3D-rakennusmallit sekä maanpinta-

malli voivat olla hyödyllisiä ja käyttökelpoisia aluesuunnittelussa. Aluesuunnitelmassa hyödynnettävien mallinnusobjektien tekeminen vie paljon aikaa, joten valmiita mallinnusobjekteja kannattaa hyödyntää aina, jos niitä on saatavilla. Tätä väitettä tukee myös se, että viidellä yrityksellä kahdeksasta tutkitusta yrityksestä oli käytössään valmiita mallinnusobjekteja sisältävä objekti kirjasto.

### **Mitä mallintaessa tulee huomioida, jotta mallista tulee mahdollisimman havainnollinen, monikäyttöinen ja helposti päivitettävä?**

Useissa lähteissä painotettiin sitä, että mallin etuna on jo itsessään sen havainnollisuus (Reily 2015; Chappel ja Lawrence 2015; Evinger 2016). Mallin havainnollisuutta pystytään parantamaan renderoimalla (Sosnowski 2016), mutta aluesuunnittelussa riittää, että malli on käyttötarkoitukseen nähden riittävän yksityiskohtainen ja havainnollinen (Chappel ja Lawrence 2016; Korpela 2016). Case-tutkimuksessa havaittiin, että mitä yksityiskohtaisemman mallin tekee, niin sitä havainnollisempi siitä tulee. Mallintamiseen menee tällöin kauan aikaa, mutta silloin mallista tulee monikäyttöinen. Liian tarkka mallintaminen kuitenkin vaikeuttaa mallin päivittämistä, joten mallinnus kannattaa tehdä vain käyttötarkoituksen edellyttämällä tarkkuudella, josta Kiiski 2016 ja Korpela 2016 ovat samaa mieltä. Mallin helppo päivitettävyyden, sekä mallin monikäyttöisyys ovat molemmat vahvasti sidoksissa mallin organisointiin. Malli tulee olla organisoitu järkevästi, jotta siitä tulee monikäyttöinen ja helposti päivitettävä (Tall 2011; Eskelinen 2016, Vikmyr 2016).

### **Mitä valmiita mallinnusobjekteja on saatavilla ja mitä on tarpeellista luoda itse?**

Kirjallisuuslähteissä oltiin sitä mieltä, että kattavaa työmaan alue-, turvallisuus- ja logistiikkasuunnittelussa hyödynnettävää objekti kirjastoa ei ole valmiiksi saatavilla (Kiviniemi 2011; Deshpande ja Whitman 2014; Zhao 2016). Revit:n ja SketchUp:n objekti kirjastossa on kuitenkin saatavilla monia hyödyllisiä objekteja (Sosnowski 2016; Bullain 2016; Evinger 2016). Synchro PRO:n objekti kirjasto sisältää myös useita valmiita tuotannon suunnittelussa hyödynnettäviä objekteja (Sosnowski 2016). Ne ovat kuitenkin hyödynnettävissä vain kyseisessä ohjelmassa tuotannon 4D-simuloinnissa ja objekti kirjasto ei ole tarpeeksi laaja tehokkaan tuotannonsuunnittelun kannalta (Deshpande ja Whitman 2014). Myös case-tutkimuksessa havaittiin, että Revit:n ja SketchUp:n objekti kirjastoissa on paljon työmaan aluesuunnittelussa hyödynnettäviä objekteja, mutta osa tarpeellisista objekteista pitää kuitenkin mallintaa itse. Tämän takia kohdeyrityksen käyttöön luotu yhteinen objekti kirjasto on erittäin hyödyllinen, koska sitä kautta mallinnetut objektit voi jakaa helposti muiden työmaiden käyttöön. Case-tutkimuksen aikana havaittiin, että suurin tarve on teline, sääsuojaus ja työmaasähköistys objekteille. Dynaamisille objekteille ja erilaisille mallinnusta nopeuttaville työkaluille on tarvetta kaikissa objekti ryhmissä.

### **Mitä etuja tiemallipohjaisella aluesuunnittelulla saadaan perinteiseen kaksikulotteiseen aluesuunnitteluun verrattuna?**

Työmaan aluesuunnitelma on tehty perinteisesti kaksikulotteisena, mutta tällöin monet työmaan erityispiirteet saattavat jäädä huomioimatta (JohgHoon ja Castillo 2015). Tietomallipohjaiseen aluesuunnitteluprosessiin siirryttäessä on tärkeää miettiä, miten uudesta työkalusta ja teknologiasta saadaan kaikki hyödyt irti. Uuden työkalun ja teknologian ympärille tulee kehittää kokonaan uusia toimintatapoja (Hardin ja McCool 2015). Tietomallintaminen tuo uusia mahdollisuuksia aluesuunnitteluun ja tiedon esittämiseen (Sulankivi 2009). Korkeuseroja, pinnan muotoja sekä muita mahdollisia riskitekijöitä ei välttämättä pysty esittämään kaksikulotteisessa aluesuunnitelmassa, mutta ne voidaan

esittää kolmiulotteisessa mallissa (Sulankivi 2009). Tietomallipohjaisen aluesuunnitelman etuna on myös lopputuotteen visuaalisuus, sekä mahdollisuus aika- ja kustannusriippuvuuksien lisäämiseen.

Tietomallipohjaista aluesuunnittelua voidaan tämän tutkimuksen perusteella pitää parempana toimintatapana kuin perinteistä kaksiulotteista aluesuunnittelua. Valmiin mallin havainnollisuus ja monikäyttöisyys ovat mallinnuksen kiistattomia etuja. Koska aluesuunnitelma on kommunikoinnin ja yhteistyön apuväline, niin aluesuunnittelu pitäisi lähes poikkeuksetta tehdä mallintamalla. Tietomallipohjaisessa aluesuunnittelussa on hyvänä puolena se, että ohjelmien, toimintatapojen ja uusien teknologioiden kehittyessä tietomallipohjaisesta aluesuunnittelusta on mahdollista saada paljon enemmän hyötyjä tulevaisuudessa. Nyt ollaan vasta siinä pisteessä, että mallinnus on osoittautunut toimivaksi ja käyttökelpoiseksi työkaluksi. Tulevaisuudessa, kun mallien käyttö kehittyy, niin hyödyt tulevat olemaan vielä merkittävämpiä.

### **6.3 Tietomallipohjaisen aluesuunnittelun tulevaisuus ja jatkotutkimustarve**

Diplomityön aihevalinta tuntui onnistuneelta, koska aihe on ajankohtainen ja tietomallinnuksen järkevällä hyödyntämiselle on selvä yhteys parantuneeseen työturvallisuuteen ja tehokkaampaan rakennustuotantoon. Case-kohde kestää kesään 2018 asti, joten projekti-insinöörinä kohteessa työskennellessä on hyvä mahdollisuus kehittää ja päivittää diplomityön tuotoksena syntyntä aluesuunnitelmaa ja etsiä sille uusia käyttötarkoituksia. Case-kohteen toteutuksen aikana tutkitaan ja hyödynnetään 4D-aikataulunhallintaa Vico Office:lla ja Synchro PRO:lla.

Aihetta koskeva jatkotutkimustarve voidaan jakaa seuraavaan kymmeneen osa-alueeseen:

- Kalustonhallinta työmailla yhdistäen eri teknologioita, kuten RFID-tunnisteita, GPS-sensoreita ja tietomallinnusta.
- Mallinnuksen automatisointi, eli määriteltujen sääntöjen mukaan tapahtuva automaattinen mallinnus. Tätä voisi hyödyntää esimerkiksi putoamissuojaussuunnittelussa ja nostokaluston optimoinnissa.
- Aluesuunnitelman optimointi rakennuksen tietomalliin sisältyvään attribuuttitietoon ja matemaattisiin malleihin perustuen.
- Aluesuunnitelman herättäminen henkiin virtuaalisessa ympäristössä. Tämän voisi tehdä esimerkiksi kaikkiin työkonseihin ja betonautoihin kiinnitettävien GPS-tunnisteiden avulla sekä GPS-tunnisteilla varustettujen rakenteiden ja työmaakaluston päivittyminen suoraan tietomallipohjaiseen aluesuunnitelmaan.
- Työmaan aluesuunnitelman hyödyntäminen työmaan digitaalisessa viestinnässä.
- Videokameralla varustettujen pienoishelikoptereiden tuottaman materiaalin kehittäminen ja hyödyntäminen työmaan aluesuunnittelussa.
- Kaupunkimallien ja niiden tarjoamien mahdollisuuksien hyödyntäminen työmaan aluesuunnittelun lähtötietona ja julkaisualustana.
- Älykkäiden työmaan alue-, logistiikka- ja turvallisuussuunnittelussa hyödynnettävien objektien kehittäminen ja erilaisten mallinnusta helpottavien työkalujen luominen.



- Kerrossuunnitelmien ja rakennuksen sisäpuolen logistiikan suunnittelu ja hallinta tietomallien avulla.
- Virtuaalisen todellisuuden tarjoamat mahdollisuudet työturvallisuuden ja tehokkaan tuotannon näkökulmasta.

# Lähdeluettelo

Arikaran P, DR. V, Jayabalan D, Senthilkumar R. 2010. Analysis of Unequal Areas Facility Layout Problems. *International Journal of Engineering*. Vol. 4:1. S.44-51. ISSN 1985-2312

Autodesk Seek. 2016. Viitattu 16.4.2016. Saatavilla: <http://www.seek.autodesk.com/>

Azhar Salman, Hein Michael ja Sketo Blake. 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*. Vol. 11:3. S. 241-252.

Blum Christian ja Roli Andrea. 2003. Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys*. Vol. 35:3. S. 268-308.

Bullain Viktor. 2016. Regional Manager, VDC. Turner Construction. 375 Hudson Street New York, NY 10014. Haastattelu 2.2.2016.

Chappel Jason ja Lawrence Ryan. 2015. Commucating Site Logistics & Phasing. BIM-Forum. Hilton San Diego Bayfront Hotel. 30.4.2015. Viitattu 23.2.2016. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=KbSSxzES4QM>

Dakakny Antonio. 2016. Suunnittelija. Ramirent Finland Oy. Louhostie 1, 04300 Tuusula. Kokous 6.4.2016.

Dengenis Susanne. 2016. Improving construction the Synchro way: Real results. Blogikirjoitus. Viitattu 15.4.2016. Saatavilla: <http://blog.synchroltd.com/improving-projects-the-synchro-way-real-results>

Deshpande Abhijeet, Ph. D, J. Blake Whitman Jarrel Blake. 2014. Evaluation of the Use of BIM Tools for Construction Site Utilization Planning. Auburn University. *50th ASC Annual International Conference Proceedings*. 8 s.

Eastman Chuck, Teicholz Paul, Sacks Rafael, Liston Kathleen. 2011. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons Inc. Jew Jersey. 648 s. ISBN: 978-0470541371.

Elbeltagi Emad, Hegazy Tarek, Hosny Abdel Hady, Eldosouky Adel. 2001. Schedule-dependent evolution of site layout planning. *Construction Management & Economics*. Vol 19:7 (2011). S. 689-697.

Elbeltagi Emad. 2008. Construction Site Layout Planning. Viitattu 7.6.2016. Saatavilla: [http://brainshare.ug/system/attachments/att\\_files/000/000/512/original/site\\_layout\\_planning.pdf?1431695574](http://brainshare.ug/system/attachments/att_files/000/000/512/original/site_layout_planning.pdf?1431695574)

Eskelinen Mikko. 2016. Vanhempi mestari. SRV Rakennus Oy. Stenbäckinkatu 9, 00290 Helsinki. Haastattelu 22.3.2016.

Evinger Jake. 2016. Manager of VDC Services. Trimble GC/CM Division. 935 Stewart Drive Sunnyvale, California 94085. Haastattelu 11.2.2016.

Hardin Brad, Mccool Dave. 2015. BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons Inc. Indiana. 375 s. ISBN 978-1118942765.

Hellemans Alexander. 2013. BIM: changing the way architects and builders work. Artikkel. Viitattu 7.5.2016. Saatavilla: [http://www.youris.com/Energy/Ecobuildings/BIM\\_Changing\\_The\\_Way\\_Architects\\_And\\_Builders\\_Work.kl](http://www.youris.com/Energy/Ecobuildings/BIM_Changing_The_Way_Architects_And_Builders_Work.kl)

Helsinki Region Infoshare. 2016. Helsingin pintamalli. Viitattu 25.4.2016. Saatavilla: <http://www.hri.fi/fi/dataset/helsingin-pintamalli>

Huitti Niklas. 2016. Uusi Rakennus (Väre). SketchUp:lla luotu animaatio työmaan aluesuunnitelmasta. Viitattu 17.4.2016. Saatavilla: <https://vimeo.com/163139604>

Isotalo Katri. 2013. Kaupunkimalli on muutakin kuin visualisointia. Positio 1/2013. S. 17-19. Viitattu 23.4.2016. Saatavilla: [http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/positio\\_1\\_2013\\_kaupunkimalli\\_on\\_muutakin\\_kuin\\_visualisointia](http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/positio_1_2013_kaupunkimalli_on_muutakin_kuin_visualisointia)

Janzon Franciska. 2015. Ramirent first to integrate rental solutions into Building Information Modeling. Blogikirjoitus. Viitattu 26.3.2016. Saatavilla: <http://blog.ramirent.com/blog/2015/08/25/ramirent-first-to-integrate-rental-solutions-into-building-information-modeling/>.

JongHoon Kim, Castillo Fernando. 2015. Case Study : BIM for Planning, Simulating, and Implementing Complex Site Logistics. Korean Institute of Building Information Modeling. *Journal of KIBIM*. Vol 5:1. S. 47-52.

Kaikkonen Tapio. 2016. Kalustopäällikkö. SRV Kalusto Oy. Kalkkimäentie 8, 03100 Nummela. Haastattelu 22.1.2016.

Kiiski Henri. 2016. Tuotantoinisinööri. SRV Rakennus Oy. Tarvonsalmenkatu 15, 02600 Helsinki. Haastattelu 14.4.2016.

Kiviniemi Markku, Sulankivi Kristiina, Käkönen Kalle, Mäkelä Tarja, Merivirta Maija-Leena. 2011. BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction. VTT Technical Research Centre of Finland. *VTT Tiedotteita – Research Notes* 2597.123 s. ISBN 978-9513877828.

Korpela Matias. 2016. Projekti-insinööri. SRV Rakennus Oy. Kyläsaarenkatu 25, 00580 Helsinki. Haastattelu 3.3.2016.

Kumar Srinath S. ja Cheng Jack C.P. 2015. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. *Automation in Construction*. Vol 59. S. 24-37.

Liggett Robin S. 2000. Automated facilities layout: past, present and future. *Automation in construction*. Vol. 9:2. S. 197-215.

Liukkonen Oskari. 2015. Kuntien paikkatiedon polku kankartasta 3D-kaupunkimalliin. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Maankäyttötieteiden laitos. Espoo. 92 s.

Mawdesley Michael J, Saad H. Al-Jibouri ja Hongbo Yang. 2002. Genetic algorithms for construction site layout in project planning. *Journal of construction engineering and management*. Vol 128:5. S. 418-426. ISSN: 1943-7862.

Merivirta. 2011. Turvallisuusviestintä rakennusalalla. Yhteisöviestinnän pro gradu – tutkielma. Jyväskylän Yliopisto. Viestintätieteiden laitos. Jyväskylä. 70s.

Mohandes Saeed Reza ja Marsono Abdul Kadir Bin. 2015. Fastening Technology In Construction For Sustainability Through BIM. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. 120s. ISBN: 9783659720376.

Mordue Stefan ja Finch Roland. 2014. BIM For Construction Safe and Healthy. RIBA Publishing. Newcastle. 96s. ISBN: 9781859465288.

Ning Xin, Lam Ka-Chi, Lam Mike Chun-Kit. 2010. A decision-making system for construction site layout planning. *Automation in Construction*. Vol. 20:4. S. 459-473.

Ratu 05-00675. 2007. Rakennustyömaan aluesuunnittelun työturvallisuuden muistilista rakennusvaiheittain. Helsinki. Rakennustieto Oy. 4 s.

Ratu C2-0299. 2007. Rakennustyömaan aluesuunnittelu. Helsinki. Rakennustieto Oy. 16 s.

Reily Josh. 2015. Ryan Companies uses SketchUp Pro For virtual design and construction. SketchUp Blog. Viitattu 9.1.2016. Saatavilla: <http://blog.sketchup.com/sketchupdate/ryan-companies-uses-sketchup-pro-virtual-design-and-construction>

Riley David, Sanvido Victor. 1995. Patterns of Construction-Space Use in Multistory Buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 121:4. S. 464-473. ISSN 1943-7862.

RT 10-11066. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 1. Yleinen osuus. Helsinki. Rakennustieto Oy. 12 s.

RT 10-11068. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 3. Arkkitehtisuunnittelu. Helsinki. Rakennustieto Oy. 17s.

Sacks R., Treckmann M., Rozenfeld O. 2009. Visualization of work flow to support lean construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 135:12. S.1307-1315.

Salem O., Solomon J., Genaidy A. & Luegring M. (2005) Site implementation and seesment of lean construction techniques. *Lean Construction Journal*. Vol 2:2. S. 1-21.

Savisalo Anssi. 2014. Johtava konsultti, FCG. Tietomallinnuksen viime aikojen kuulumisia. Seminaariesitys Kuntien paikkatietoseminaari 11.2.2014. 35 s.

Seppänen Olli, Modrich Ralf-Uwe, Ballard Glenn. 2015. Integration of Last Planner System and Location-Based Management System. Proc. 23<sup>rd</sup> Ann. Conf of the Int'l. Group for Lean Construction. Perth, Australia, 29-31.7.2017. S. 123-132. Saatavilla: [www.igcl.net](http://www.igcl.net).

Serra Sheyla Mara Baptista ja Oliveira O.J.. 2003. Development of the logistics plans in building construction. Konferenssi: System-Based Vision for Strategic and Creative Design: Proceedings of the Second International Conference on Structural and Construction Engineering. Vol 1. Italia, Rooma.

SketchUp Help Center. 2016. Importing and Exporting CAD Files. Using SketchUp Data with Other Modeling Programs or Tools. Verkko-opas. Viitattu 13.4.2016. Saatavilla: <https://help.sketchup.com/en/article/3000165>

Sosnowski Peter. 2016. Preconstruction Director, VDC. Webcor Builders. 207 King Street, Suite 300, San Francisco, CA 94107. Haastattelu 28.1.2016.

Sutt Jüri, Lill Irene, Muursepp Olev. 2013. The Engineer's Manual of Construction Site Planning. Wiley-Blackwell. 196 s. ISBN 978-1118556092.

Vainio Terttu. 2016. Asuntotuotantotarve 2015-2040. VTT Technology. 21s + liitt. 10s. ISBN 978-951-38-8395-9

Vikmyr Anders. 2016. VDC Manager. Ramirent Sverige. Louhostie 1, 04300 Tuusula. Kokous 6.4.2016.

Yaakob Mazri Bin, Nawi Mahd Nasrum Mohd, Ibrahim A., Hanafi M.H. 2014. A Propose Study of Developing Building Information Modelling (BIM) Framework in the Malaysian Construction Industry. Knowledge Management International Conference 2014 (KMICe2014). Langkawi, Malesia.

Zhao Stan. 2016. BIM Director. China State Construction. 3rd Bureau Pekingin toimisto. Haastattelu. 26.1.2016.

Womack James p., Jones Daniel T., Roos Daniel. 1990. The Machine that Changed the World. Free Press. 352 s. ISBN: 978-0-7432-9979-4.

205/2009. 2009. Valtioneuvoston asetus työmaan turvallisuudelle. FINLEX. Viitattu 5.12.2015. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>

# Liiteluettelo

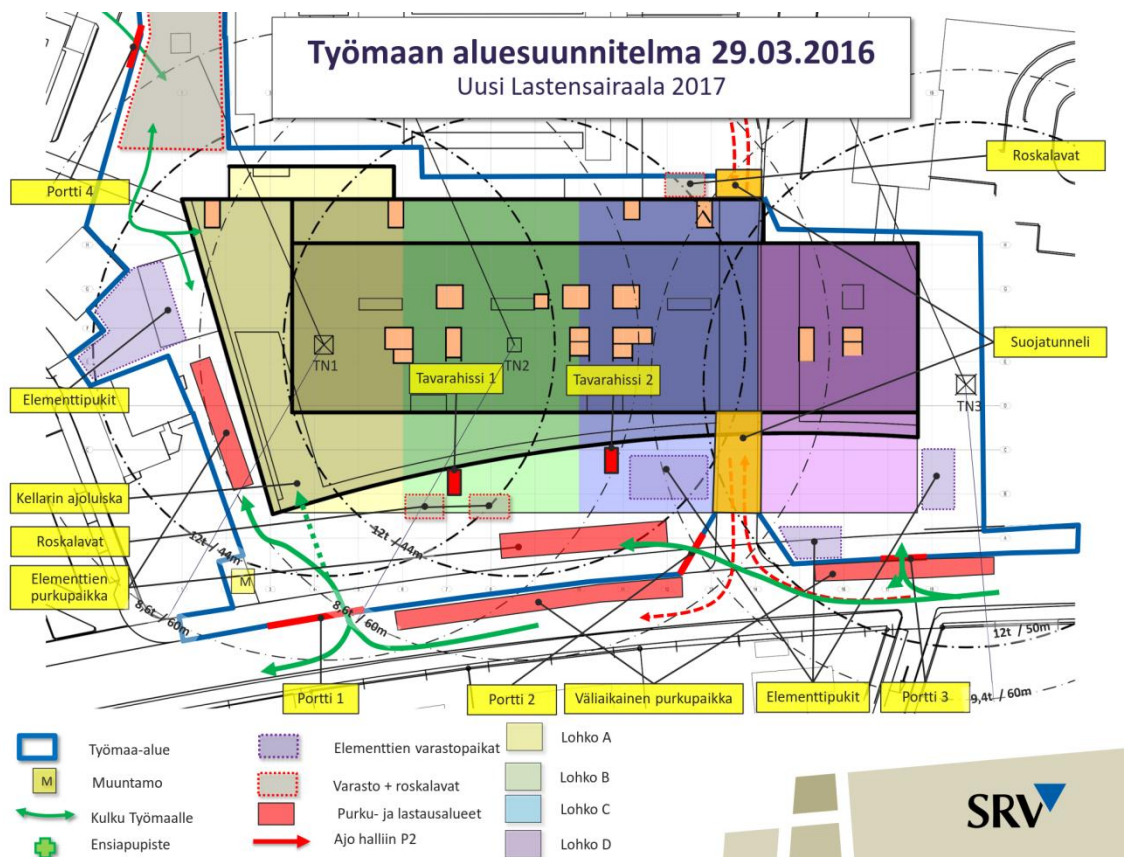
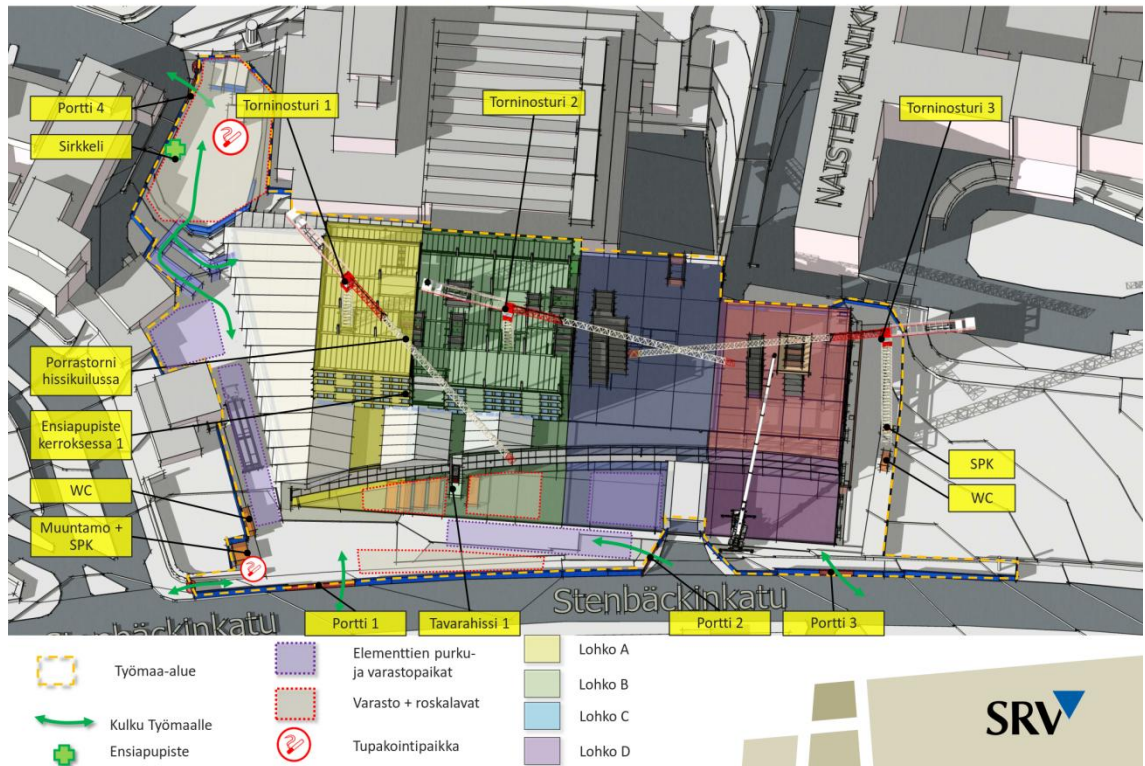
Liite 1. Uusi Lastensairaala 2017 –työmaan aluesuunnitelma (29.03.2016). 3 sivua.  
Liite 2. Tietomallipohjainen aluesuunnittelu SketchUp:lla, toimintaohjeet. 2 sivua.



# Liite 1. Uusi Lastensairaala 2017 –työmaan aluesuunnitelma (29.03.2016).

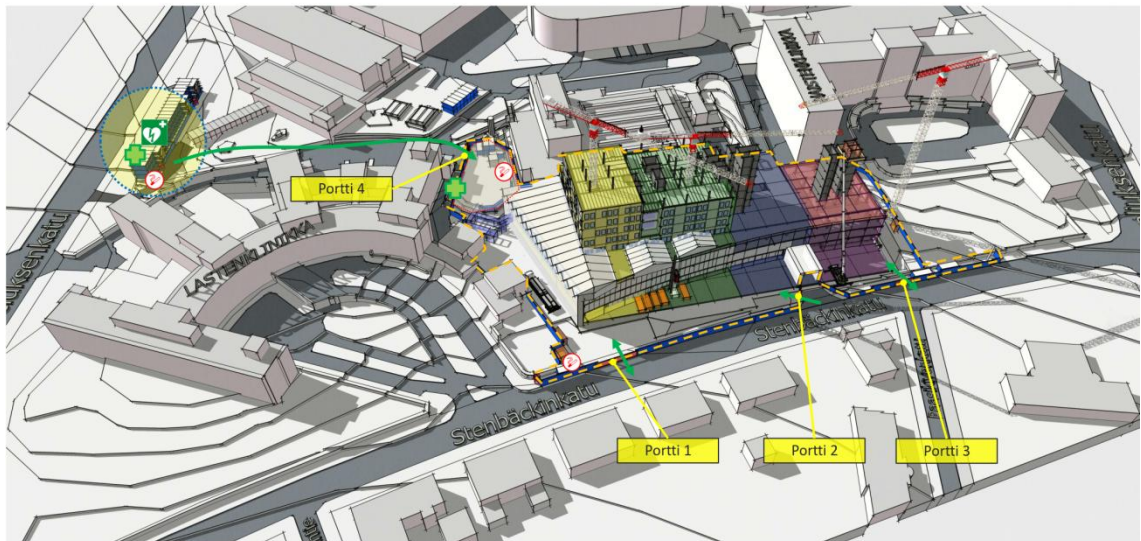
## Työmaan aluesuunnitelma 29.03.2016

Uusi Lastensairaala 2017



# Työmaan aluesuunnitelma 29.03.2016

Uusi Lastensairaala 2017

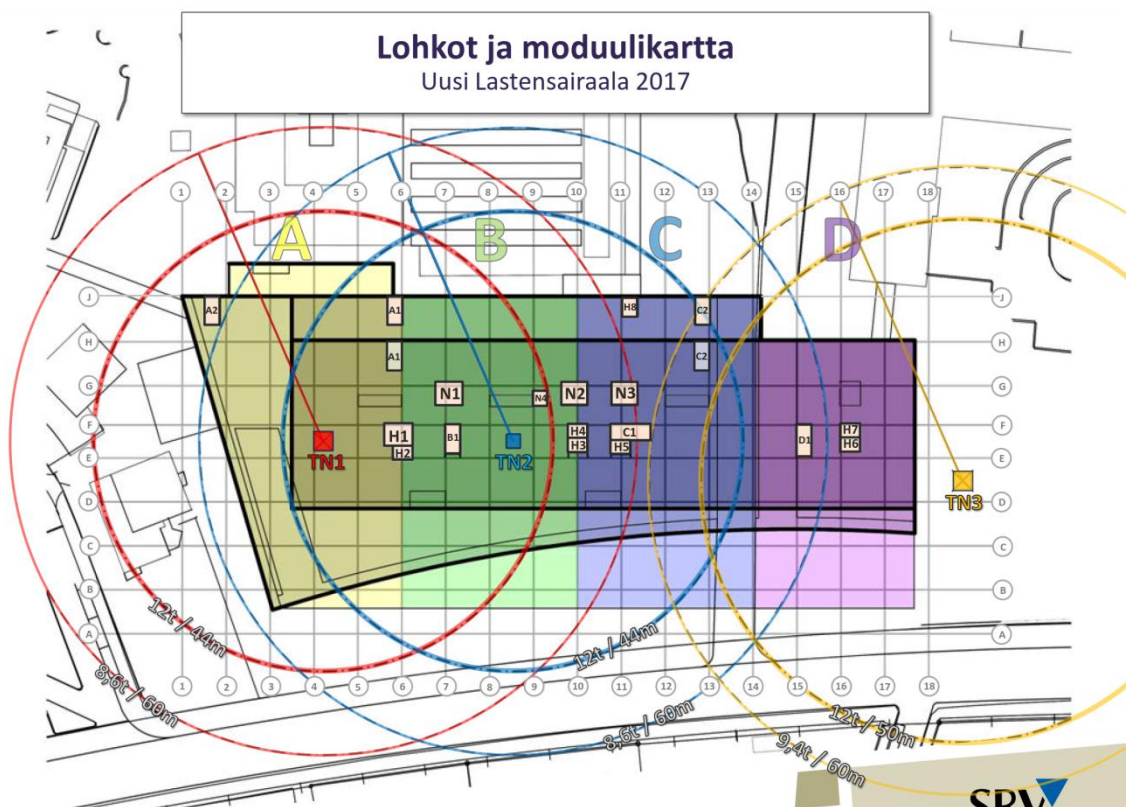


- |   |                 |   |                  |
|---|-----------------|---|------------------|
|    | Muuntamo        |    | Ensiapupiste     |
|    | Kulku Työmaalle |    | Defibrillaattori |
|  | Sosiaalitilat   |   | Työmaa-alue      |
|   |                 |  | Tupakointipaikka |



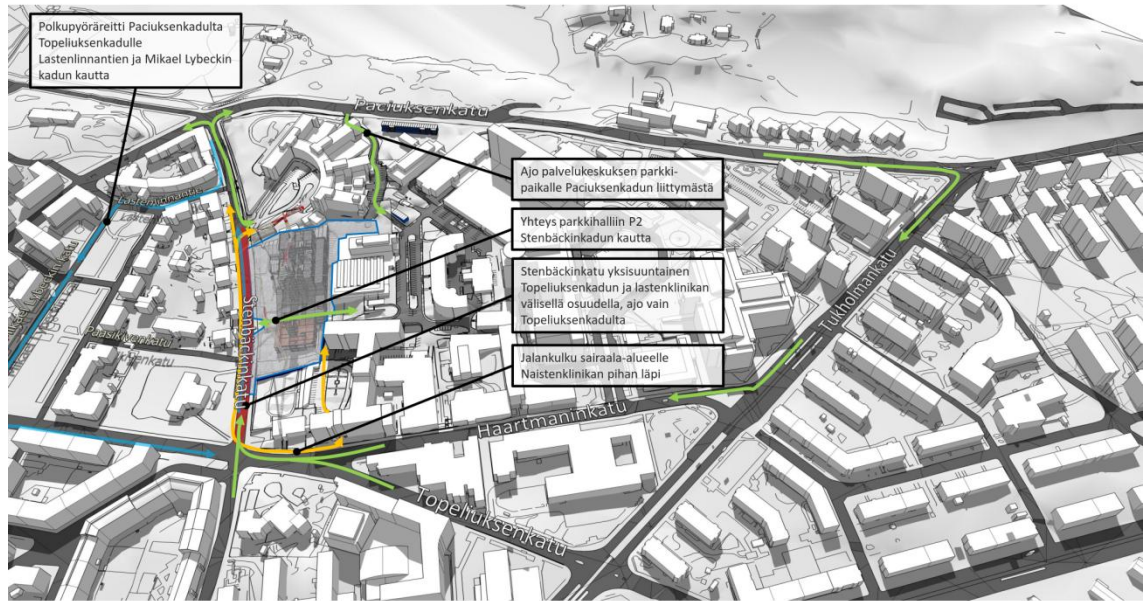
## Lohkot ja moduulikartta

Uusi Lastensairaala 2017





## Liikkuminen työmaan ympäristössä Uusi Lastensairaala



-  Ajoneuvoreitit
-  Jalankulkureitit
-  Polkupyöräreitit
-  Yksisuuntainen katuosuus
-  Työmaa-alue



## Liite 2. Tietomallipohjainen aluesuunnittelu SketchUp:lla, toimintaohjeet.

### Tietomallipohjainen aluesuunnittelu SketchUp:lla

Toimintaohjeet

(Revisio 28.4.2016)



### Lähtötiedot SketchUp aluesuunnittelussa

- AutoCAD:lla karsittu ja muokattu asemakaava DWG-muodossa. Toinen (huonompi) vaihtoehto on SketchUp:iin viety ja siellä skaalattu valokuva .
- Eri suunnittelualojen valmiit mallit tarpeen mukaan.
- Kaupunkimallit (Helsinki, Espoo, Tampere)
- Google Earth valokuvan ja topografian saa suoraan SketchUp:n kautta. Sitä kautta on mahdollista saada myös 3D-malleja rakennuksista.
- Julkiset objektikirjastot.

(Revisio 28.4.2016)



## Vinkkejä SketchUp:lla mallinnukseen

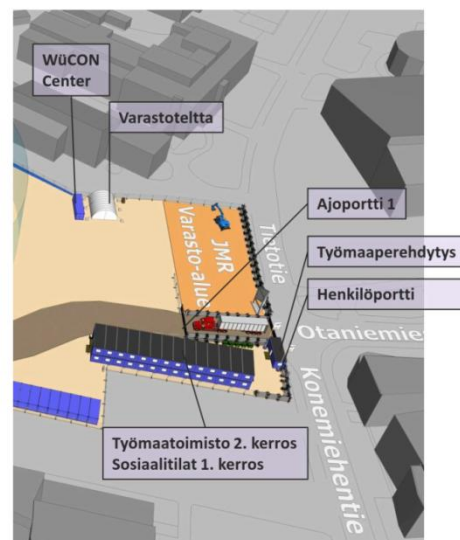
- Mallin organisointi ryhmien- ja komponenttien (mahdollisesti tasojen) avulla. Näin mallia on helpompi muokata jälkeenpäin ja käyttää eri tarkoituksissa.
- Malli toimii sulavammin, kun piilotat sillä hetkellä turhat asiat, käytät kevyttä tyyliä, pidät varjot pois päältä mallintaessa ja organisoit mallin hyvin.
- Hyödynnä kaikki lähtötiedot, koska mitään ei kannata tehdä kahta kertaa.
- Hyödynnä eri näkymiä (scenes).
- Tutustu SketchUp Help Centteriin ja etsi ratkaisut ongelmiin sitä kautta:  
<http://help.sketchup.com/en>
- Youtubessa on paljon hyödyllistä opetusmateriaalia tarjolla.

(Revisio 28.4.2016)



## Aluesuunnitelman julkaisu

- SketchUp:ssa voi luoda näyttäviä animaatioita näkymien ja leikkausten avulla.
- Kaikkea ei tarvitse luoda mallissa, vaan lisähuomiot voi tehdä muilla työkaluilla.
- IFC- ja SKP-muodossa olevat mallit joita voi katsella ilmaisilla viewereilla.
- Interaktiiviset media-alustapalvelun applikaatiolla luodut kuvat.
- 3D-aluesuunnitelma on lähtötieto 4D-mallintamiseen Synchro PRO:lla.



(Revisio 28.4.2016)

